



Trabajo Fin de Grado

Interpretación ecológica de una laguna
endorreica: Formación, evolución y
restauración pasiva en una zona semiárida.

Autor/es

Elena Ceacero Gámez

Director/es

José Miguel Castillejo Moreno

Escuela Politécnica Superior de Huesca.

2015

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN:	7
2.	MATERIAL Y MÉTODOS:	13
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO:	13
2.1.1.	Climatología:	14
2.1.2.	Geología:	15
2.1.3.	Hidrología	15
2.1.4.	Vegetación	16
2.1.5.	Fauna	16
2.2.	Características de la laguna:	17
2.3.	Recopilación de información:	18
2.3.1.	Toma de muestras	18
2.3.2.	Análisis de las muestras	19
2.4.	Tratamiento previo de los datos.	21
2.4.1.	Planteamiento estadístico	21
3.	RESULTADOS:	22
3.1.	<i>Datos meteorológicos.</i>	22
3.1.1.	<i>Análisis de series temporales.</i>	22
4.1.2.	Análisis de Componentes Principales	25
4.2.	<i>Datos fisicoquímicos.</i>	28
4.2.1.	Análisis de series temporales.	28
5.	DISCUSIÓN:	35
6.	CONCLUSIONES:	44
7.	AGRADECIMIENTOS:	8
8.	BIBLIOGRAFÍA:	9

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1 Características morfométricas de la laguna de los Yesares.
- Tabla 2: Parámetros meteorológicos seleccionadas para el estudio
- Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos seleccionados para el estudio y referencia del análisis
- Tabla 4: Resultado del análisis PCA para las variables meteorológicas
- Tabla 5 Resultado del análisis PCA para las variables fisicoquímicos.

ÍNDICE DE FIGURAS:

- Figura 1.Climograma de las dos estaciones climatológicas de Tabernas.
Fuente: 1996-2009 S. Rivas-Martinez, Centro de Investigaciones Fitosociológicas, Madrid.
- Figura 2: Tendencias temporales de los parámetros meteorológicos de 2003 a 2012
- Figura 3: Biplot del PCA para las variables meteorológicas.
- Figura 4: Tendencias temporales de los parámetros fisicoquímicos de 2003 a 2012
- Figura 5: Biplot del PCA para los parámetros fisicoquímicos.

ÍNDICE DE ANEXOS:

- Anexo I: Fotografías e imágenes de la laguna de los Yesares
- Anexo II. Matrices de datos meteorológicos y fisicoquímicos.
- Anexo III. Análisis de tendencias temporales. Parámetros meteorológicos
- Anexo IV: Análisis de Tendencias temporales. Parámetros fisicoquímicos.

RESUMEN

La desaparición de humedales y la pérdida de calidad de agua son dos hechos que a día de hoy se ven incrementados en distintas partes del mundo, pero en especial, en las zonas semiáridas y áridas. A pesar de esta problemática, a partir de una cubeta en una cantera de yesos en Sorbas se crea una laguna mediante la entrada pluvial del agua. En ese momento se propuso llevar a cabo una restauración pasiva, y permitir la sucesión ecológica de la laguna, realizando un seguimiento de sus características fisicoquímicas durante 10 años. El presente estudio recoge dichas características y añade variables meteorológicas. Todas ellas han sido sometidas a un análisis de componentes principales y un análisis de tendencias temporales, para ordenar e interpretar la información, realizando un LTER (Long Term Ecological Research) que analice la evolución temporal de la laguna.

En dicho análisis se pueden distinguir las variables de origen geológico que tienen la misma tendencia temporal, totalmente dependientes de la meteorología, y por otro lado, las variables de origen orgánico, entre las que destaca el nitrato por su alta presencia en comparación con las demás, así como otras especies nitrogenadas que van apareciendo gradualmente. Las variables de origen geológico nos indican como actúa la dinámica hídrica ante las perturbaciones y las de origen orgánico, los problemas del exceso de nutrientes, y el aumento de la complejidad del ecosistema.

Observando su baja capacidad de resiliencia ante perturbaciones intensas, se comentan medidas de restauración pasiva para mejorar su funcionalidad estructural, como reducir la entrada de nutrientes, modificar las pendientes para reducir los aportes de materia por erosión hídrica y mejorar la zona litoral para aumentar la captación de nutrientes y el buen desarrollo de los macrófitos.

Keywords: Restauración pasiva, ecosistema lagunar, cantera de yeso, LTER, sureste peninsular, zonas áridas y semiáridas.

ABSTRACT:

The disappearance of wetlands and the loss of water quality are two problems that today are increased in various parts of the world, but especially in semi-arid and arid areas. Despite these problems, from a pit in a gypsum quarry in Sorbas, a lagoon is created by the storm water input. At that time it was proposed to conduct a passive restoration, and ecological succession allow the lagoon, keeping follow up their physicochemical characteristics for 10 years. This study contains these characteristics and weather variables, which both of them have been subjected to a principal component analysis and analysis of temporal trends, ordering and interpreting information, making a LTER (Long Term Ecological Research) to analyze the temporal evolution the lagoon.

In this analysis it can be distinguished variables of origin geological that have the same temporal trend, totally dependent on the weather, and on the other hand, variables of organic origin, among which stands out for its high nitrate presence compared to other and other nitrogen species that are faded. Geological origin variables indicate how the hydrodynamics acts against disturbances and organic origin, problems of excess nutrients, and increasing the complexity of the ecosystem.

Looking its low resilience to internal disturbances, passive restoration measures are discussed to improve its structural functionality, such as reducing the input of nutrients, modify pending to reduce inputs of materials by water erosion and improve the littoral zone to increase uptake nutrients and the proper development of macrophytes.

1. INTRODUCCIÓN:

En el continente Europeo, España es el país con zonas de mayor extensión cuyas características derivan de la aridez. Estas corresponden, según Porta, et al. (2003), al archipiélago canario en Lanzarote y Fuerteventura; la banda árida y moderadamente árida en Almería-Cartagena, y parte central del Valle del Ebro. Los ecosistemas de estas zonas están sometidos a una variabilidad climática, tanto interanual, como estacional. Además, por su latitud, también presentan altos niveles de radiación solar incidente y variaciones amplias de temperatura durante el día y la noche. Este clima, supone dos problemas básicos para la sostenibilidad ecosistémica en el tiempo. Por un lado, su carácter impredecible hace que las condiciones para desencadenar procesos ecológicos se den muy espaciados en el tiempo; y por el otro, la aparición de eventos esporádicos negativos puede afectar a las características del ecosistema. En los ecosistemas acuáticos de zonas áridas o semi áridas, estos fenómenos influyen de igual manera, creando un efecto denominado “régimen de pulsos”, donde según Neiff (1999), los flujos de energía y de materiales ocurren como pulsos con fases de crecidas y sequía, debido a las condiciones extremas y a la gran influencia de perturbaciones climatológicas, aunque estas se den muy espaciadas en el tiempo.

En estas regiones, los humedales en particular, tienen un papel importante por su contribución a la diversificación del paisaje, alta productividad y generación de microclimas de fuerte contraste con la aridez circundante (González-Bernáldez 1989, Gómez et al. 1990, Hollis 1990, Delgado et al. 2003) y proporcionan bienes y servicios, como el almacenamiento de carbono, conservación de la biodiversidad, la purificación del agua, y el control de la erosión, entre otros (Moreno-Mateos et al. 2012). Sin embargo, son ecosistemas con una alta fragilidad, que suelen estar sometidos a unas condiciones climáticas adversas para su auto-sostenibilidad y a acciones antrópicas que limitan su desarrollo, y pueden llegar a deteriorarlos.

La tasa de desaparición y degradación de humedales ha aumentado en los últimos años (Keddy, 2000). Más de la mitad de los ecosistemas de humedales

existentes en el siglo XX en América del Norte, Europa, Australia, y China se han perdido a causa de las actividades humanas (Moreno-Mateos et al. 2012), y solo en el litoral almeriense durante los últimos 10 años han desaparecido 4 humedales (Ortega et al. 2001). Es por ello que su conservación pase a ser tema de debate y estudio para distintos foros científicos y conferencias, como la Conferencia Anual de la Sociedad de Científicos de Humedales (Society of Wetland Scientists - SWS), “SER Conferencia Mundial 2015 sobre Restauración Ecológica” el Simposio Internacional sobre Humedales (INTECOL), el Foro Mundial del Agua y programas europeos como el Programa Europeo Management of Mediterranean Wetlands (Med-Wet), entre otros.

En el ámbito político también queda reflejado este interés. En Europa surge la Directiva Marco de Agua (DMA) (Directiva 2000/60/CE del 23 de octubre de 2000) Mediante esta directiva, la Unión Europea organiza la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías.

Según esta normativa, los Estados miembros de la Unión Europea deben especificar todas las cuencas hidrológica situadas en su territorio y presentar un plan de gestión y un programa de medidas en cada demarcación hidrográfica. Dichas medidas tendrán como objetivos prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales, lograr que estén en buen estado químico y ecológico y reducir la contaminación debida a los vertidos y emisiones de sustancias peligrosas, entre otros. Para ello da un plazo de 15 años desde su aprobación, por lo que a día de hoy estos objetivos ya deberían estar cumplidos. Por desgracia, todavía queda mucho trabajo por hacer.

Por todo lo anterior, se hace patente la necesidad de aplicar distintas herramientas de gestión para la conservación de estos ecosistemas. Entre ellas, la restauración de ecosistemas.

Según la Society for Ecological Restoration International (SER), La restauración ecológica es el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. La SER también establece que el ecosistema se ha recuperado – y restaurado – cuando (1) contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. (2) Este ecosistema se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente. (3) Demostrará su capacidad de Resiliencia (capacidad de recuperación dentro de los límites normales de estrés y alteración ambiental). (4) Demostrará su capacidad de autosostenibilidad (Interactuará con ecosistemas contiguos en términos de flujos bióticos y abióticos e interacciones culturales).

Para llegar a este estado de recuperación, el ecosistema debe atravesar una trayectoria de desarrollo a través del tiempo. En la restauración, la trayectoria empieza con el ecosistema degradado y progresa hacia el estado deseado de recuperación, que se expresa en las metas del proyecto de restauración.

En ocasiones, el sistema inicial a restaurar ha sido un sistema en el que la acción antrópica hace inevitable que llegue a un umbral ecológico. De hecho, un ecosistema que pasa por la restauración puede terminar en uno de una gran variedad de estados distintos. Los ecosistemas que, por la influencia del hombre, difieren de aquellos que han prevalecido históricamente, y tienen una tendencia a auto-organizarse y manifestar cualidades nuevas sin gestión humana intensiva, son los llamados Ecosistemas Noveles. (Hobbs et al. 2006).

Algunos de los ecosistemas que pueden considerarse ecosistemas noveles si cumplen los anteriores indicadores son campos de cultivo abandonados, un cauce del que se ha desviado su caudal, o las canteras mineras. En estos últimos, el ecosistema de referencia al que se quiere llegar en muchos casos es un ecosistema acuático. Esta medida de restauración se adopta frecuentemente porque puede resultar muy beneficiosa para cumplir los compromisos de restauración de la industria minera, aporta un recurso escaso como es el agua en un medio árido y, además, es una herramienta contra la pérdida internacional de tipos de hábitats acuáticos (McCullough y Van Etten, 2011).

Para ello, la trayectoria ecológica que se suele seguir es rellenar los huecos vacíos con agua para formar lagos, también denominados, pit-lakes (McCullough y Van Etten, 2011), Esta acción se puede llevar a cabo de forma activa, o permitiendo las condiciones adecuadas para que pueda rellenarse de una forma espontánea. En el proceso de transición entre lo que era el medio terrestre y el deseado ecosistema acuático pueden aparecer varios problemas, como niveles de eutrofización muy avanzados, afloramiento de cianobacterias, pobreza en la cadena trófica, problemas de turbidez, contaminación de iones, metales pesados, etc., ocasionando en muchos casos mala calidad del agua, toxicidad para la vida acuática o la contaminación de aguas subterráneas y cualquier tipo de ecosistema acuático interconectado. Esto es debido, entre otras cosas, a que no se fijan objetivos realistas para un proceso real de restauración ecológica, sino que se suele tratar como remedio auxiliar en los casos en los que hay escasez de material de relleno y tierra vegetal para establecer un ecosistema terrestre. Además, muy pocas veces se realiza un seguimiento o este resulta insuficiente.

A veces, la restauración ecológica es sólo uno de los muchos elementos de una iniciativa más amplia del sector privado o público, tales como: proyectos de desarrollo, programas para el manejo de una cuenca hidrográfica, de manejo de ecosistemas o de conservación de la naturaleza. Para que estas iniciativas tengan una repercusión real, es importante conocer las condiciones del ecosistema en una escala temporal amplia. Por ello, Los Long Term Ecological Research. (De aquí en adelante, LTER) son ideales para poder establecer una restauración ecológica.

Los LTER son un conjunto de estudios científicos que se basan en los procesos ecológicos en escalas temporales y espaciales prolongados (Kratz et al. 2003).

Una diferencia clave entre los experimentos a largo plazo y a corto plazo es que los primeros proporcionan información sobre las causas de los cambios en el grado de las respuestas, las causas de los puntos de inflexión, y la magnitud del cambio a largo plazo, mientras que a corto plazo los experimentos se centran sólo en las trayectorias iniciales (Knapp et al. 2012). Por lo tanto, los

experimentos a largo plazo pueden abordar mecanismos y dinámicas temporales más complejas.

Un monitoreo continuado en el tiempo, permite modelar y extrapolar a futuros casos, detectar cuales han sido los problemas ambientales, y actuar convenientemente con el programa de gestión adecuado (Redman et al. 2004), Pero sigue habiendo un problema: ¿Cómo definir cuando finaliza el seguimiento? ¿Cómo sabemos si el ecosistema tiene una calidad ecológica? La Directiva Marco del Agua opera con 5 rangos de evaluación ecológica (High Good Moderate Poor y Bad) usando una amplia gama de variables bióticas como indicadores de calidad, destacando: fitoplancton, macrófitos, invertebrados y peces (Søndergaard et al. 2005). El problema reside en que los factores bióticos no siempre tienen la misma importancia en todos los tipos de ecosistemas acuáticos, y pueden estar limitados por otros muchos parámetros externos sin que el ecosistema se encuentre en un estado de calidad bajo y viceversa. Pero estas variables bióticas responden, de forma predominante, a la variabilidad hidrológica espacial y temporal de estos medios y a la salinidad del agua. (Vidal-Abarca et al. 2004), que a su vez, también definen las características fisicoquímicas. En lagunas temporales de zonas semiáridas, una de las principales características es la variabilidad de sus condiciones físicas y químicas, tanto a escala espacial como temporal. (Vidal-Abarca et al. 2004). Por tanto, en esta situación, “el papel de la hidroquímica como indicador de las condiciones de la cuenca es elevado” (Vidal-Abarca. et al 2004) y puede sustituir al biológico para establecer la calidad ecológica del ecosistema.

A partir de esta premisa, y según diversos estudios, se deduce que a partir de unas pocas variables físico-químicas, como el fósforo, (Søndergaard et al. 2005), el carbono orgánico (Williamson et al. 1999), la turbidez (Peeters et al. 2009), y otras variables abióticas como la pendiente del litoral (Crisman et al 2005), o la precipitación (Alvarez-Cobelas et al. 2006), se puede aportar información suficiente para identificar el estado y la calidad del ecosistema lacustre. Y más aún en sistemas acuáticos formados en canteras mineras, cada día más frecuentes, donde la interacción con la geología es muy relevante y la actividad antrópica dificulta el asentamiento de comunidades de organismos.

Entre los distintos materiales geológicos interesantes para el consumo y la industria está el yeso o sulfato cálcico ($\text{Ca}[\text{SO}]_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), un mineral típicamente sedimentario (puede formar rocas sedimentarias monominerales) que se origina durante el proceso de evaporación de antiguas cuencas marinas o salobres. Entre sus principales propiedades físicas destaca su blandura, ocupando el segundo lugar en la escala de Mohs después del talco. España es uno de los mayores productores de yeso del mundo, en concreto, el tercero tras EEUU y China, y en Europa, es líder indiscutible de producción, consumo y el principal exportador el continente. (Regueiro et al, 1997). El mineral de yeso tiene gran cantidad de aplicaciones, p.e, en la agricultura como aporte de azufre y calcio o enmienda de suelos, en la industria alimenticia, química, farmacéutica o en la construcción. Pero el yeso también tiene importantes implicaciones ecológicas. La presencia de un suelo, especialmente rico en yesos, constituye un factor altamente limitante para el desarrollo de la mayoría de las especies de plantas. (Alcantara, 2009). No obstante, la austeridad de estas comunidades vegetales en cuanto a cobertura vegetal contrasta con la riqueza estructural y diversidad de su flora, que se acrecienta por la presencia de endemismos, especialmente entre las gipsófilas.

Concretamente en la explotación minera de Iberplaco, en Sorbas (Almería), llamada “Los Yesares” surge una pequeña cubeta lacustre. La dirección empieza a valorizar la presencia de un humedal en el proceso de restauración de la cantera y se decide encargar al Instituto de Ciencias Agrarias (ICA), (antes perteneciente al Centro de Ciencias Medioambientales, o CCMA), del un estudio preliminar sobre las características ecológicas de dicha laguna, dentro del proyecto de investigación “Restauración y revegetación de escombreras en la cantera de yesos Los Yesares de Iberplaco”. El estudio de ecología acuática tuvo lugar de enero a octubre de 2002. Tras este estudio se decide optar por una restauración pasiva, que se basa en la sucesión espontánea, permitiendo así el desarrollo de la funcionalidad en el ecosistema de forma autogénica.

Esto sin duda, constituye una oportunidad singular para el estudio de los procesos de un sistema acuático, como es un humedal, en una zona semiárida; para el seguimiento de una restauración pasiva en un medio acuático (hasta ahora un concepto más aplicado a ecosistemas terrestres), y para aprender cómo gestionar de manera eficiente futuros humedales para disminuir su nivel de degradación e incluso impedir su desaparición.

El presente trabajo pretende ser una contribución al estudio de los humedales de la península Ibérica, y en particular, de aquellos que se desarrollan en zonas semiáridas, así como servir de documento base para fundamentar las herramientas de gestión, analizando la evolución temporal de una laguna situada en una zona semiárida y sometida a una restauración pasiva con el fin de establecer las pautas para una correcta gestión del humedal en el proceso de restauración de la cantera.

Para ello se pretende:

- Analizar y justificar, desde un punto de vista ecológico, las tendencias temporales de las características fisicoquímicas de la laguna.
- Evaluar el proceso de restauración pasiva mediante los indicadores descritos por la SER.
- Establecer medidas activas para mejorar la funcionalidad del ecosistema. en caso de que fuera necesario.

En este estudio planteamos como hipótesis que la sucesión ecológica ha conseguido desarrollar un ecosistema “maduro”, aumentando su complejidad en estos 10 años. Y el ecosistema es capaz de recuperarse de las perturbaciones y tiene cualidades para ser autosostenible en el tiempo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS:

2.1. ÁREA DE ESTUDIO:

El sistema lacustre en estudio se encuentra en una explotación yesífera en Sorbas, municipio de Almería. Esta cantera constituye la explotación de yesos

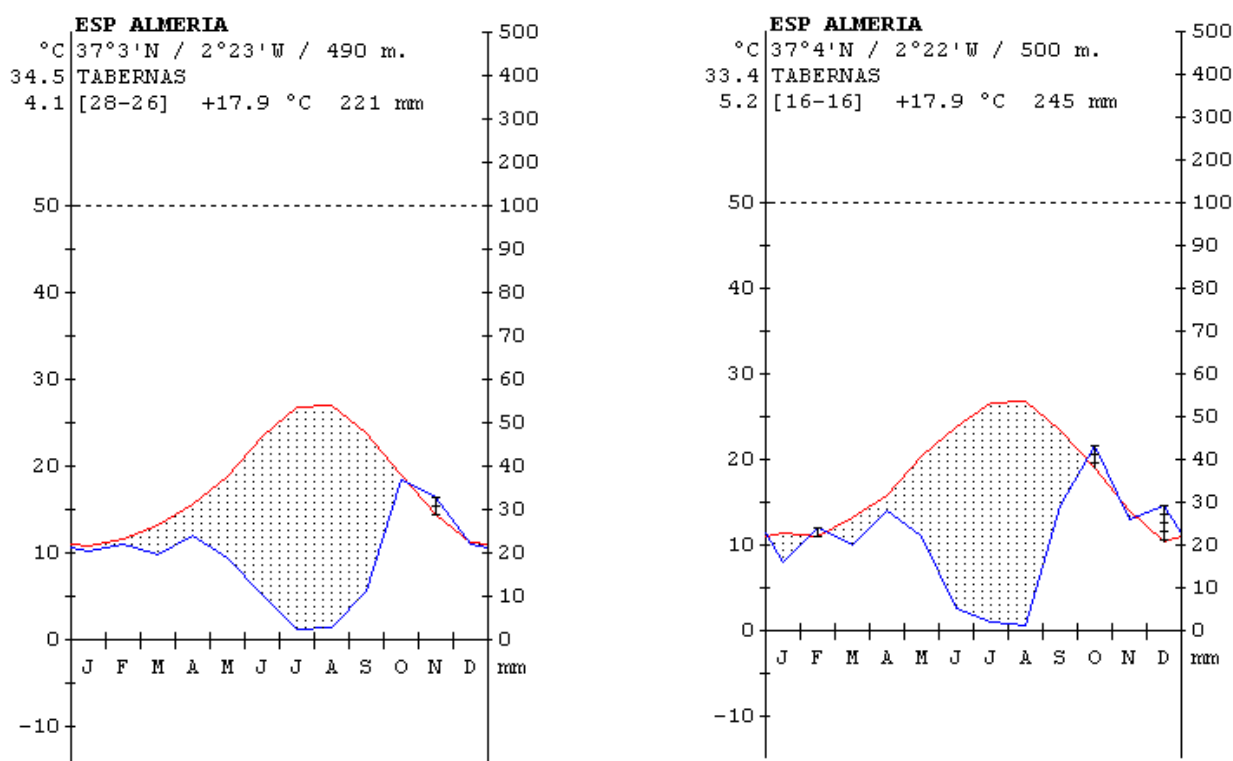
más extensa de Europa, de la que se extraen aproximadamente 2 millones de toneladas/año.

Está situada en el extremo oriental del corredor subdesértico Tabernas-Sorbas, una de las zonas más áridas de Europa, muy próxima al Paraje Natural “Karst en yesos de Sorbas”, propuesto recientemente como Parque Natural y pendiente de aprobación.

2.1.1. CLIMATOLOGÍA:

Según el mapa bioclimático de Rivas Martínez (2008), el clima del área de estudio (en este caso, tomando como base de referencia Tabernas) pertenece a la categoría Mediterráneo xérico oceánico. Esta zona es la única clasificada especialmente como Termo Superior mediterráneo bajo semiárido (Upper thermo mediterranean low semiarid.)

Figura 1. Climograma de las dos estaciones climatológicas de Tabernas. Fuente: 1996-2009 S. Rivas-Martínez, Centro de Investigaciones Fitosociológicas, Madrid.



Este clima se caracteriza por su marcada aridez, con rasgos subdesérticos atenuados. A una baja precipitación anual, 230 mm, se añade una gran irregularidad tanto a lo largo del año, como interanualmente. El mes más frío es

enero, con unos 12 °C de temperatura media, y el más cálido agosto, con 26°C. Las medias de las temperaturas máximas están entre 17 y 18°C en invierno, y por encima de los 36°C en verano. Las medias de las temperaturas mínimas están entre los 3 y 5°C en invierno sobre los 20°C en verano. El periodo de riesgo de heladas incluye 5 meses (de noviembre a marzo), pero los días de heladas son infrecuentes.

2.1.2. GEOLOGÍA:

El área de estudio se encuentra dentro de la depresión Sorbas-Tabernas, con un gradiente altitudinal que oscila entre 300 y 467 m. s. n. m. La cuenca de Sorbas del SE de España contiene una de las sucesiones sedimentarias más completas del Mediterráneo (Krijgsman et al. 2001). La parte Mesiniense de esta secuencia puede ser separada en depósitos pre-evaporíticos, evaporíticos y postevaporíticos (Braga et al. 2006). Los materiales presentes en la depresión son las margas, los conglomerados y los yesos y estos últimos constituyen la principal bolsa de este mineral dentro del ámbito mundial, y forman un impresionante complejo kárstico que se extiende al Este de la localidad de Sorbas, aflorando en una superficie aproximada de 12 km². (Matamala, 2007). El origen de la depresión, al igual que las sierras que la rodean (Sierra de Cabrera, Alhamilla y Los Fibras) tuvo lugar durante el Mioceno. Los movimientos orogénicos delimitaron diversas cuencas que estuvieron inundadas por el mar Mediterráneo durante varios millones de años. En la cuenca se fueron acumulando aportes sedimentarios procedentes de la erosión de los materiales que conformaban la depresión y su entorno próximo (Braga et al. 2006). La serie sedimentaria, estaba compuesta principalmente por rocas detríticas, y depósitos de yesos. Los materiales sedimentarios fueron intensamente erosionados durante el Plio-Cuaternario, hasta producir el afloramiento de la porción yesífera.

2.1.3. HIDROLOGÍA

El humedal está situado en una cuenca endorreica, en la que el único aporte hídrico que tiene es la precipitación, tanto directa como indirecta por la descarga del agua de erosión pluvial. Las causas que determinan esta característica son; el clima, (la evaporación excesiva en comparación con la precipitación), el relieve de la cubeta (se encuentra en su mayor parte rodeada

de taludes), la situación geográfica de la cantera (en la depresión intramontañosa de Sorbas-Tabernas), y la naturaleza del terreno, ya que el yeso es un material muy soluble y permite una infiltración rápida de las aguas pluviales.

2.1.4. VEGETACIÓN

La austeridad de estas comunidades vegetales contrasta con la riqueza y diversidad de su flora, que se acrecienta por la presencia de endemismos. Destacan, especialmente las gipsófilas (Matamala, 2007). Como por ejemplo, el garbancillo torero (*Ononis tridentata* L.(1753), el narciso de Sorbas (*Narcissus pachybolbus* Durieu (1847)), la matamarilla (*Helianthemum alypoides* Losa & Rivas Goday (1969)), el jabunal (*Gypsophila struthium* L. (1758)), el romerillo de Turre (*Teucrium turredanum* Losa & Rivas Goday (1969)), *Chaenorhinum grandiflorum* (Coss.) Willk.(1893)

En el caso concreto de la laguna de los yesares el afloramiento del agua favorece la formación de vegetación palustre como eneas (*Typha dominguensis*), carrizos (*Phragmites australis*), cañaverales (*Arundo donax*) y juncuales (*Juncus* sp.), o de especies arbustivas como el taray (*Tamarix canariensis*).

2.1.5. FAUNA

En el reino animal, al igual que en el vegetal, el área de los Yesares de Almería es muy rica en cuanto a diversidad y en especies endémicas. Los invertebrados son el grupo taxonómico más extendido, y en concreto en este tipo de ecosistemas acuáticos, debido a la función que desempeñan dentro de las redes tróficas. Según Millan (2006), predominan dos *Phyla*: *Mollusca* y *Arthropoda*. A destacar la clase *Insecta*, por los órdenes de Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera. En cuanto a anfibios, el sapo común (*Bufo bufo*), el sapo partero (*Bufo calamita*) y la rana común, (*Rana perezi*) son especies frecuentes.

En los alrededores de Sorbas es donde comienza el hábitat almeriense de la tortuga mora (*Testudo graeca*). También están presente el I galápago leproso (*Mauremys leprosa*) y la salamanquesa rosada (*Hemidactylus turcicus*) (Matamala, 2007), poco común en el resto de la península.

Las aves constituyen el grupo de vertebrados más ampliamente representado. En las grietas de los roquedales y cantiles aún nidifican algunas parejas de águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*) y el búho real (*Bubo bubo*). El vencejo real (*Tachymarptis melba*) habita en Badlands y cortados. Las planicies y sotos asociados a sistemas acuáticos albergan paseriformes como carriceros, mosquiteros, currucas, lavanderas y ruiseñores. Destacan el zarcero pálido (*Hippolaispallida*) y chorlitejo chico (*Charadriusdubius*) en carrizales y tarayales sobre cauces húmedos. (Romero et al. 2001).

Los desiertos de Almería también albergan algunos mamíferos como el topillo común (*Microtus duodecimcostatus*), el erizo moruno (*Erinaceu salgirusalgirus* o) y, en las cavidades, entre otros, los murciélagos orejudo. (Romero et al. 2001)

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA LAGUNA:

La laguna está enclavada en la zona norte de la explotación yesífera. (Ver anexo I) Está rodeada por el norte y el noroeste por un acantilado. Se trata de una pequeña laguna con dos cubetas principales, separadas por un camino de tierra y una porción muy somera y extensa al sur. La cubeta más grande tiene una pequeña isla en su lado norte. La cuenca es pequeña, en 2002 solo tiene 5 ha, pero el humedal completo es mayor que la simple cubeta de la laguna. Su profundidad media (0,8m) es similar a la de otros humedales de mayor envergadura, (por ejemplo, Las Tablas de Daimiel).

Tabla 1: Características morfométricas de la laguna de los Yesares en 2002. Fuente: CSIC.

Cuenca (Ha)	5
Área máxima (m2)	8635
Perímetro máximo	450
Profundidad máxima (m)	1,7
Profundidad media (m)	0,8
Volumen máximo (m3)	6919

Así pues, se presenta un análisis descriptivo de la evolución de la laguna incluyendo, además de las variables fisicoquímicas, la meteorología como instrumento para conocer y profundizar en la dinámica ecológica y el funcionamiento de estos ecosistemas.

2.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN:

2.3.1. TOMA DE MUESTRAS

En la cubeta grande, el equipo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) tomó muestras del agua con una frecuencia anual desde 2002 hasta 2012, con la excepción del año 2003, que se tomó una en mayo y otra en julio, y en 2006 que no se tomó ninguna. En ambos casos las causas son desconocidas.

Se intentó que los meses en los que se realizara el muestreo fuera en la época estival, debida a que durante estos periodos hay un déficit de agua en la depresión de Sorbas-Tabernas. Esto indica por un lado, que las concentraciones de los compuestos fisicoquímicos tendrán sus valores máximos, y por tanto, permite conocer las condiciones químicas más extremas a las que el agua de la laguna puede llegar, teniendo un margen de maniobra antes de que se conviertan en un problema, y por otro, la estabilidad climatológica permite una menor modificación de las condiciones fisicoquímicas durante el muestreo.

Las muestras para análisis de agua se tomaron en frascos de plástico lavados previamente al ácido y aclarados con agua destilada.

Por otra parte, se han recopilado datos climatológicos desde 2002 a 2012, suministrados por la estación agroclimática automática de Tabernas. Los datos están disponibles en la página web del instituto de investigación y formación agraria y pesquera de la junta de Andalucía. Los parámetros que se han recopilado son los siguientes:

Tabla 2: Parámetros meteorológicos seleccionadas para el estudio

Parámetros	Acrónimo	Unidad
Velocidad del viento	Vv	m/s
Radiación	Rad	MJ/m2
Precipitación	Prep	mm/m2
Humedad relativa mínima	Hummin	%
Humedad relativa media	Hummed	%
Humedad relativa máxima	Hummáx	%
Temperatura mínima	Tmín	°C
Temperatura media	Tmed	°C
Temperatura máxima	Tmáx	°C
Potencial de evapotranspiración	Eto	mm/m2

Para ellas se calculó la media mensual como la suma de los valores diarios, partido del total de días del mes. Posteriormente se obtuvieron las medias para los años a partir de las fechas de los muestreos de agua para el análisis fisicoquímico, generando así la serie de referencia. A excepción de la pluviometría y la evapotranspiración, cuyo valor es la suma acumulativa de los valores diarios.

2.3.2. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Las características físico-químicas de la laguna se obtuvieron a partir del análisis de las muestras que se realizaron en el laboratorio del Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Los parámetros a medir fueron los siguientes:

Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos seleccionados para el estudio y referencia del análisis. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Unidad	Acrónim o	Referencia
Conductividad	μS/cm	CE	electrodos CRISON

Materia Total	mg/L	MT	APHA (1992).
Sólidos en suspensión	mg/L	TSS	Standard Methods, APHA (1992).
Nitritos	mg/L	NO ₂ ⁻	Standard Methods, APHA (1992).
Nitratos	mg/L	NO ₃ ⁻	Marker et al. (1980)
Amonio	mg/L	NH ₄ ⁺	Standard Methods, APHA (1992).
Nitrógeno Total	mg/L	NT	Bachmann et al. (1992).
Fosforo total	mg/L	PT	Standard Methods, APHA (1992).
Ortofosfatos	mg/L	oPO ₄	Standard Methods, APHA (1992).
Color			Cuthbert et al. (1992).
Carbonatos	mg/L	HCO ₃ ⁻	APHA (1992).
Cloruros	mg/L	Cl ⁻	Standard Methods, APHA (1992).
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	Standard Methods, APHA (1992).
Sodio	mg/L	Na ²⁺	Standard Methods, APHA (1992).
Potasio	mg/L	K ⁺	APHA (1992).
Calcio	mg /L	Dureza Ca	Standard Methods, APHA (1992).
Magnesio	mg /L	Dureza Mg	Standard Methods, APHA (1992).

Toda esta información se ha complementado con una recopilación bibliográfica de artículos científicos relacionados con estudios limnológicos en general, y de ecosistemas acuáticos en zonas semiáridas en particular, así como de los distintos procesos de restauración ecológica para ecosistemas lacustres. Las herramientas de búsqueda han sido, Wok, Alcorze y Google Académico.

2.4. TRATAMIENTO PREVIO DE LOS DATOS.

Con el conjunto de datos se han construido dos matrices de datos, una para los parámetros fisicoquímicos y otra para los meteorológicos.

2.4.1. PLANTEAMIENTO ESTADÍSTICO

El primer objetivo del análisis es elaborar un modelo estadístico que describa adecuadamente las series temporales, de manera que las implicaciones teóricas del modelo resulten compatibles con las pautas de las muestras.

Se ha realizado un Análisis de Tendencias Temporales (también llamado “Forecasting”) para conocer si la tendencia tiene datos outliers, los cuales puede desajustar el análisis y el modelo de bondad de ajuste de las variables. Para realizar este análisis se ha utilizado el programa estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS). Version Statistics 20. Este análisis justifica de una forma cuantitativa y objetiva la extracción de los outliers, y a la vez, permita analizar las tendencias temporales de las variables y sus correlaciones a nivel cualitativo.

Finalmente, tras la eliminación de los outlier, se plantea un Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, en adelante PCA) para ordenar la información. Según Jolliffe (2002), este tipo de análisis reduce la dimensionalidad de un conjunto de datos que consta de un gran número de variables interrelacionadas, al tiempo que conserva tanto como sea posible de la variación presente en la que se establecen los datos. Esto se consigue mediante la transformación a un nuevo conjunto de variables, los componentes principales (PC), que son no correlacionados, y que son ordenados de modo que unos pocos de los primeros conservan la mayor parte de la variación presente en todas las variables originales. Para realizar el Análisis PCA se ha utilizado el programa informático Ginkgo Multivariate Analysis Sistem versión 1.7. Este programa forma parte de los cuatro (Ginkgo, Quercus, Fagus y Yucca) que incluye el paquete de software VegAna (edición de Vegetación y Análisis) procedente de la universidad de Barcelona, y orientado al almacenamiento, manejo y análisis de datos ecológicos.

Para facilitar la interpretación de los datos la información resultante de los PCA se representará gráficamente en forma de “biplots de correlación”.

3. RESULTADOS:

3.1. *DATOS METEOROLÓGICOS.*

3.1.1. *ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES.*

Los análisis de series temporales muestran que las variables meteorológicas no siguen una tendencia temporal, sino que muestran diferencias inter anuales, a excepción de la humedad máxima, que presenta una tendencia creciente.

La humedad media y la mínima siguen una tendencia paralela, y a su vez, claramente opuesta a la radiación. Por otro lado, las tres variables relacionadas con la temperatura también mantienen una tendencia paralela que va en aumento hasta el 2011, donde alcanza su valor mínimo, y posteriormente vuelve a su valor medio. La precipitación, la radiación, la evapotranspiración y la velocidad del viento no presentan una tendencia clara y funcionan de manera independiente al resto de variables.

La Eto más alta se corresponde con 2009, mientras que la más baja, con 2010.

Los años con mayor radiación son 2007 y 2010. La velocidad del viento se ha mantenido baja a lo largo de toda la tendencia temporal (de 2 a 1,7m/s). En cuanto a precipitaciones, son oscilantes; 2004 es el año más lluvioso de la década en estudio con 476,40mm/m², y 2005 y 2012, los años más secos, con 160 y 50mm/m² respectivamente.

Figura 2: Tendencias temporales de los parámetros meteorológicos de 2003 a 2012.

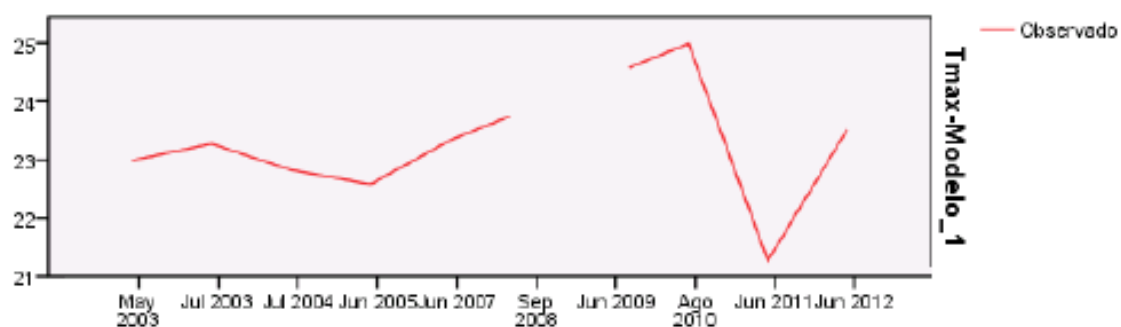


Figura 2a. Tendencia temporal de la temperatura máxima

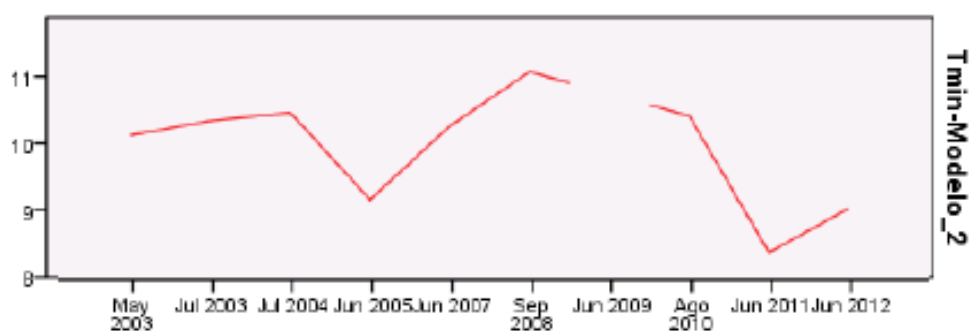


Figura 2.b: Tendencia temporal de la temperatura mínima

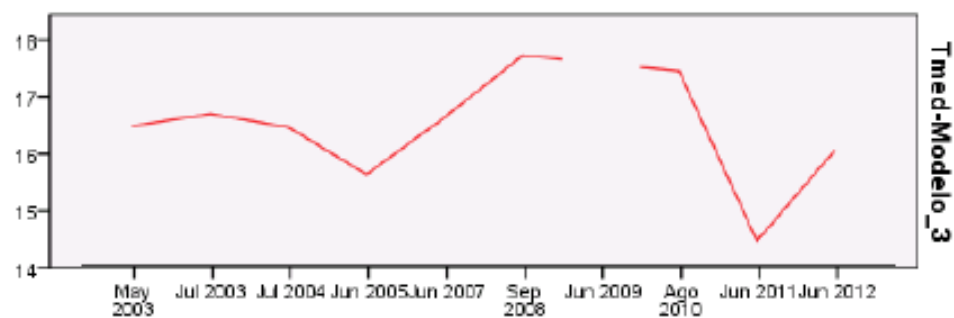


Figura 2.c: Tendencia temporal de la temperatura media

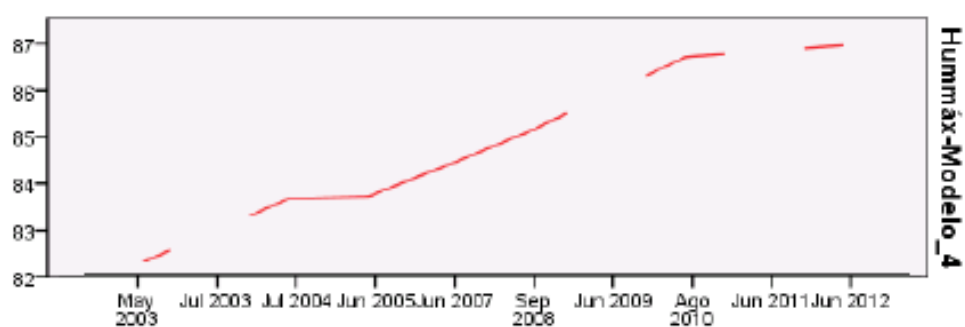


Figura 2.d: Tendencia temporal de la humedad máxima

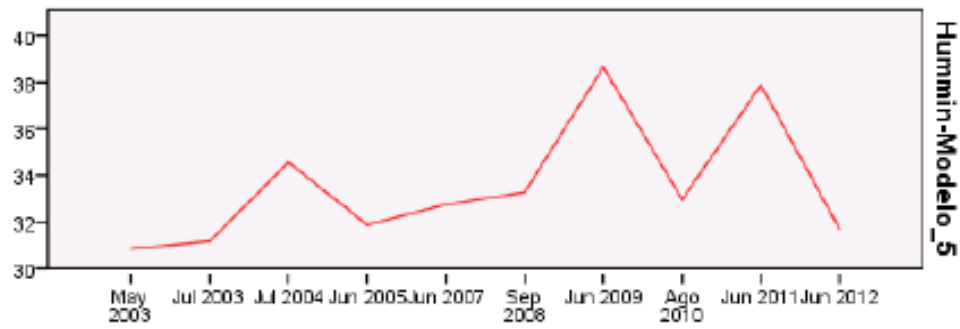


Figura 2.e: Tendencia temporal de la humedad mínima

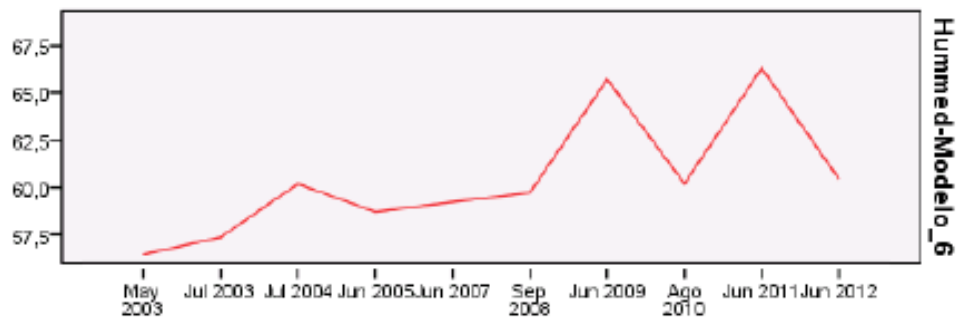


Figura 2.f: Tendencia temporal de la humedad media

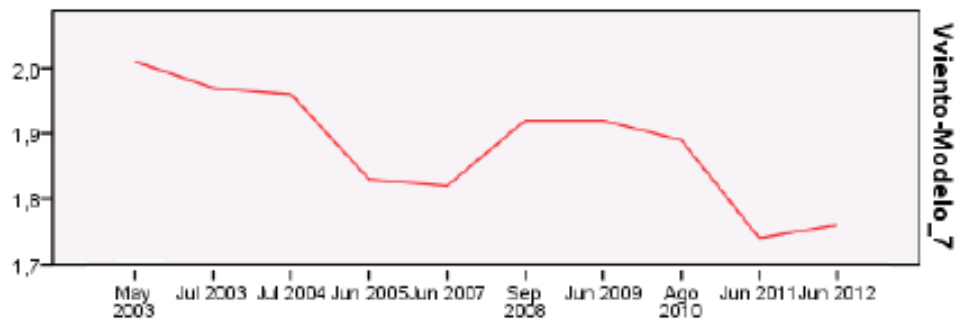


Figura 2.g: Tendencia temporal de la velocidad del viento

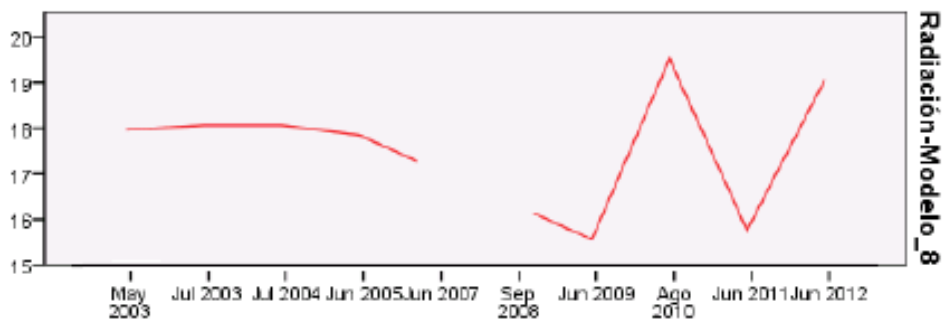


Figura 2.h: Tendencia temporal de la radiación

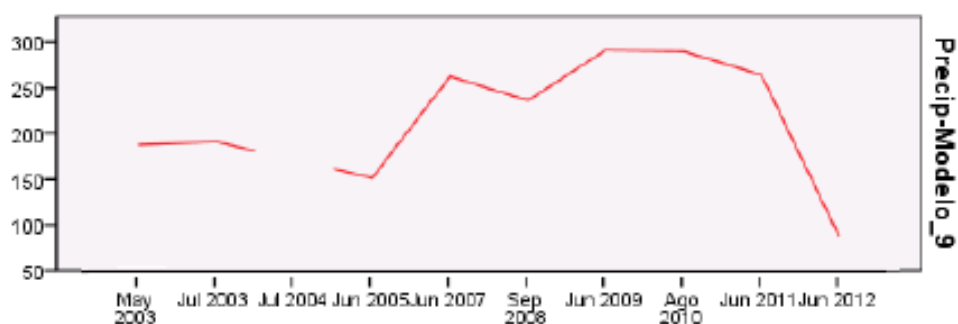


Figura 2.i: Tendencia temporal de la precipitación

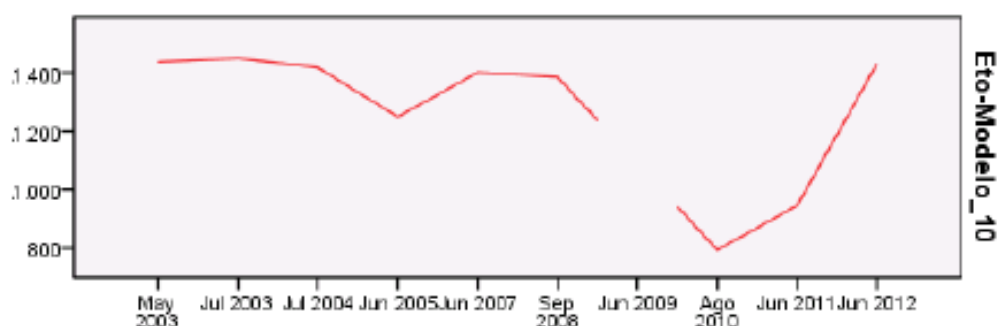


Figura 2.j: Tendencia temporal del potencial de evapotranspiración

4.1.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El PCA para las 10 variables meteorológicas muestra 9 ejes-value (EV) con los que estaría el 100% de la varianza acumulada explicada. Sin embargo, con los 2 primeros ejes se consigue explicar un 63,42% de la varianza acumulada y facilita la comprensión en la representación gráfica.

Tabla 4: Resultado del análisis PCA para las variables meteorológicas

	EV	%Total Var.	%Cum.Tot.Var.
EV-1	4,5809	45,8088	45,8088
EV-2	1,7617	17,6169	63,4257
EV-3	1,3632	13,6317	77,0574
EV-4	1,0127	10,1270	87,1844
EV-5	0,6903	6,9027	94,0871
EV-6	0,2604	2,6037	96,6908
EV-7	0,1719	1,7190	98,4099
EV-8	0,1416	1,4163	99,8262
EV-9	0,0174	0,1738	100,0000

Este análisis PCA tiene su representación gráfica en un biplot de correlación, en el que los puntos interpretan cada uno de los años de los que se ha recabado la información meteorológica, mientras que los vectores describen los descriptores, que son cada una de las variables meteorológicas que se han tomado para el estudio. La figura 3 es la representación gráfica del PCA (o biplot de correlación) de las variables meteorológicas una vez extraídos los datos atípicos. Este biplot se construye sobre dos ejes, el primero representa el primer componente principal o PC-1, con un 45,80% de la varianza explicada, y el segundo, o PC-2, con un 17,61%. Sumando un total de un 63,42% de la varianza acumulada explicada. Para interpretar los resultados, se ha tenido en cuenta que casi toda la varianza explicada corresponde al EV1, de modo que las diferencias entre el eje y el vertical (pc2) tienen mucho menos peso en la explicación de la varianza.

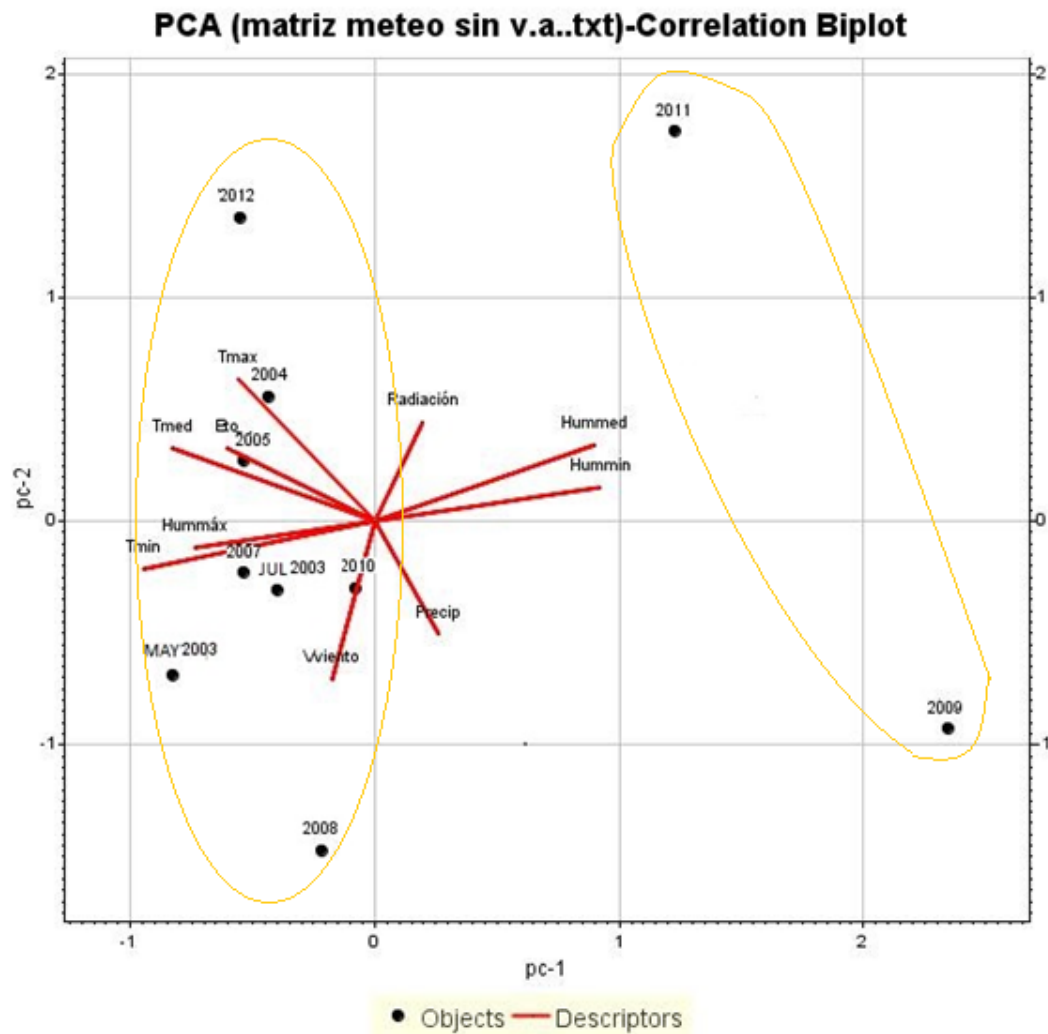


Figura 3: Biplot del PCA para las variables meteorológicas.

En ella se pueden observar las siguientes agrupaciones (de aquí en adelante “clusters”), según la relación entre los datos.

- Cluster 1: Mayo 2003, Julio 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2012
- Cluster 2: 2009, 2011

El cluster 1, corresponde a la mayoría de los años de la secuencia temporal, los cuales están asociados a los descriptores de temperatura, humedad máxima, mientras que el cluster 2 incluye únicamente 2009 y 2011, relacionados con los descriptores de radiación, precipitación, y humedad media y mínima. Esto indica que en estos últimos el clima ha sido singularmente distinto al resto de la década de estudio.

4.2. DATOS FÍSICOQUÍMICOS.

4.2.1. ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES.

Estos datos, de igual manera que para los datos meteorológicos, son extraídos para la modelización, pero igualmente, aportan información a tener en cuenta. EL análisis de tendencias muestran lo siguiente:

Por un lado la CE y la MT tienen la misma tendencia (figura 4.a y 4.b). Visiblemente, los muestreos que presentan los valores máximos de las tendencias se corresponden con los años 2009 y 2011.

Los iones HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y Ca^{2+} , también siguen una tendencia similar entre sí (figuras 4.c, 4.d, 4.e, 4.f, 4.g). Esto indica que sus concentraciones dependen de los mismos factores. Además, las proporciones de las composiciones químicas se mantienen constantes durante el tiempo de estudio. Dos iones muestran diferencias con respecto al resto; el K^+ sigue una tendencia opuesta al resto, aumentando en los años que muestran mayor humedad, (figura 4.ñ) y el Mg^{2+} (figura 4.o) sigue una tendencia positiva, paralela a la variable meteorológica de Humedad Máxima, y su concentración va aumentando con el paso de los años.

Los sólidos en suspensión (figura 4.j) y los nitritos (figura 4.i) también siguen una tendencia parecida. El resto funcionan de forma independiente.

Figura 4: Tendencias temporales de los parámetros fisicoquímicos de 2002 a 2012

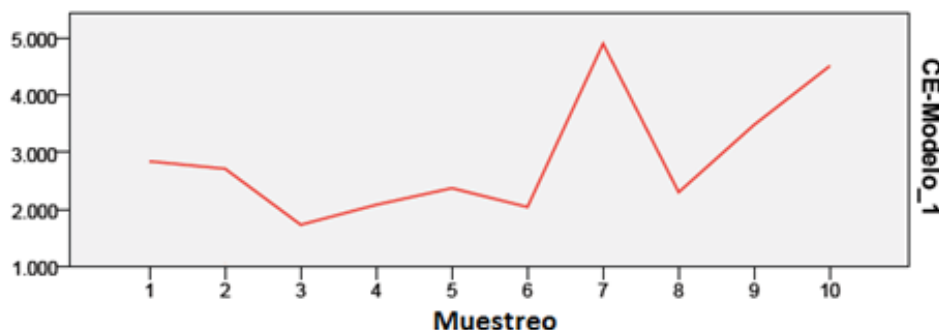


Figura4.a: Tendencia temporal de la Conductividad eléctrica

Figura4.b: Tendencia temporal de la materia orgánica total

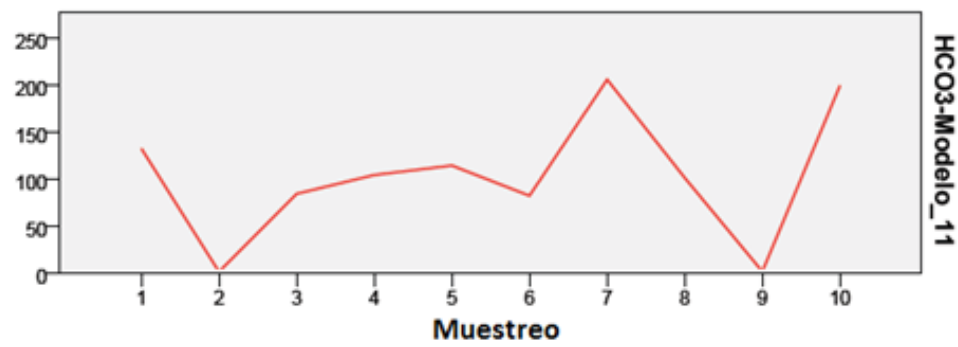


Figura4.c: Tendencia temporal de los carbonatos

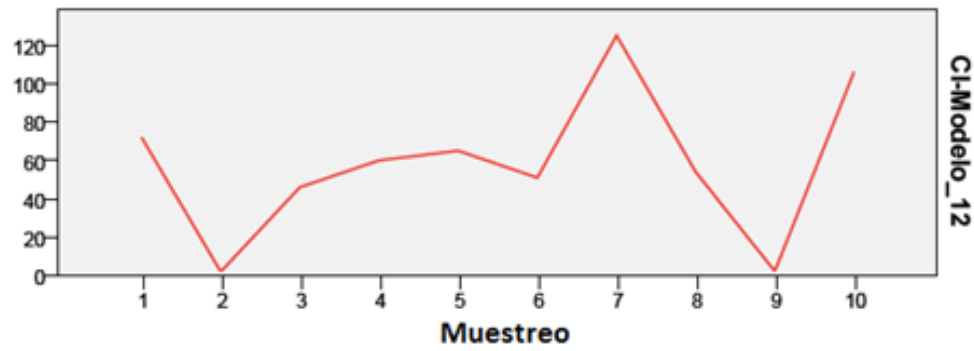


Figura 4.d: Tendencia temporal del ión Cl-

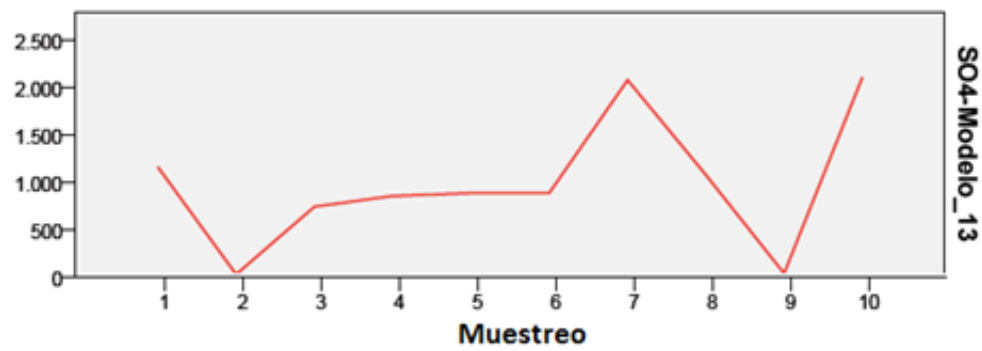


Figura 4.e: Tendencia temporal de los sulfatos

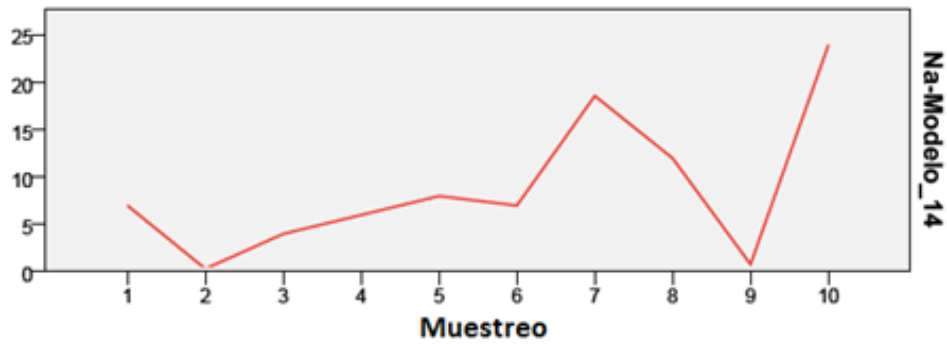


Figura 4.f: Tendencia temporal del sodio

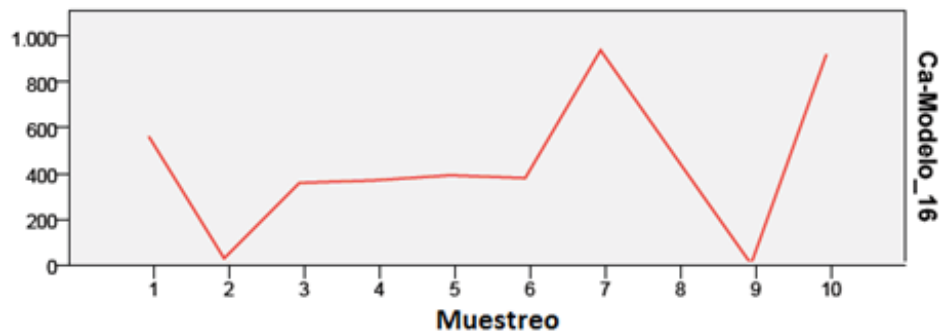


Figura 4.g: Tendencia temporal del calcio

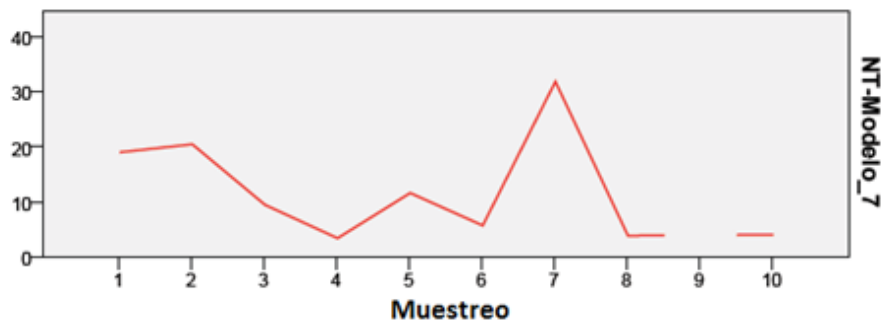


Figura 4.h: Tendencia temporal del nitrógeno total.

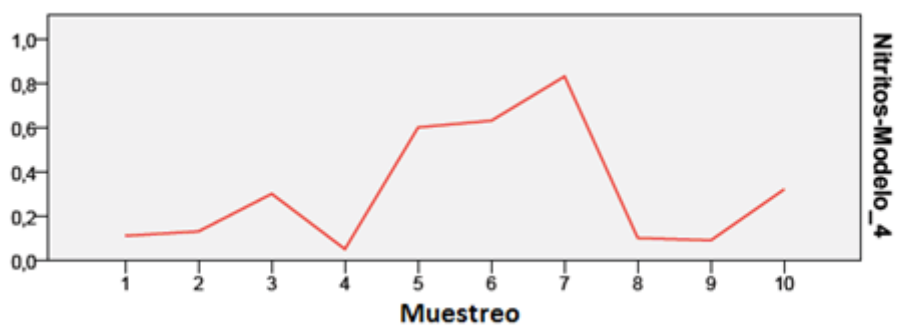


Figura 4.i: Tendencia temporal de los nitritos

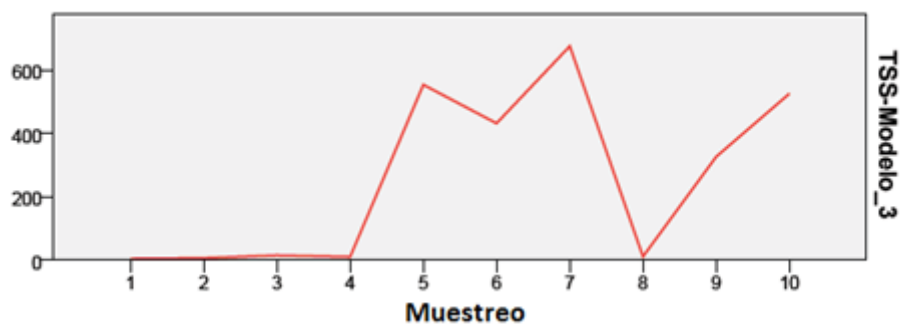


Ilustración Figura 4.j: Tendencia temporal de los sólidos en suspensión totales

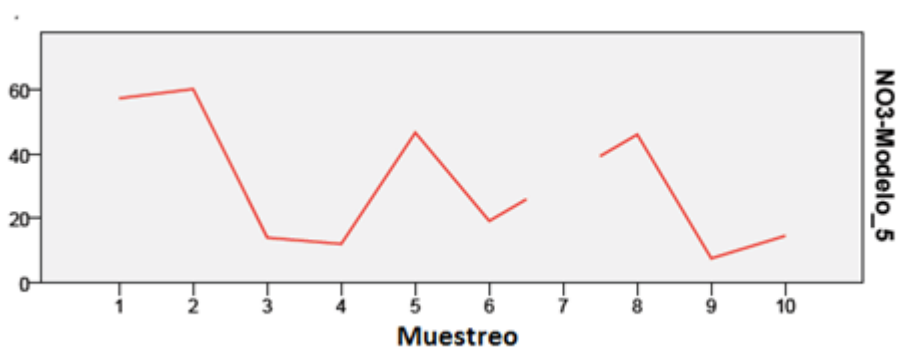


Figura 4.k: Tendencia temporal de los nitratos

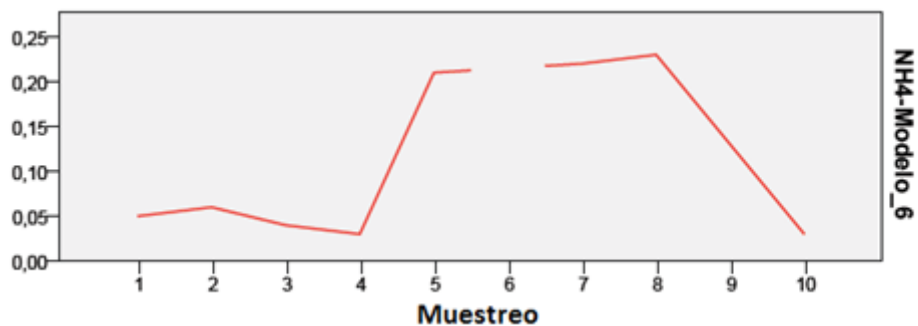


Figura 4.l: Tendencia temporal de amonio

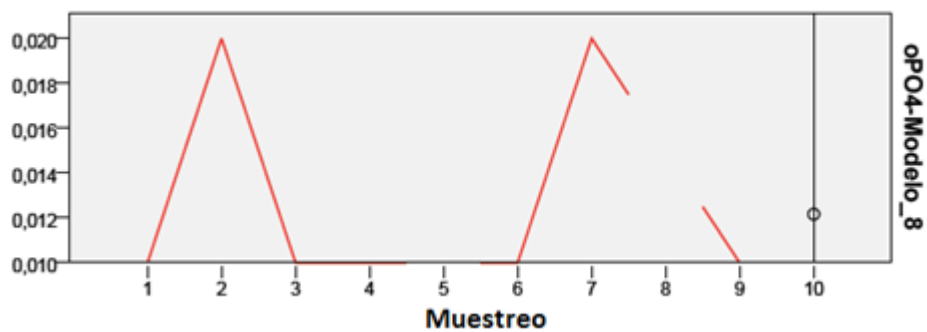


Figura 4.m: Tendencia temporal del ortofosfato

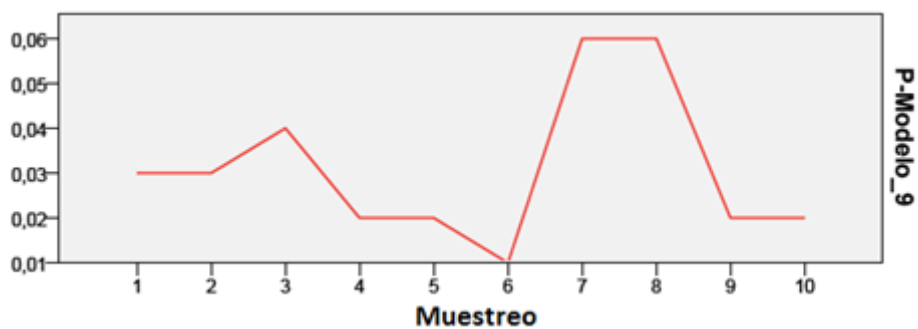


Figura 4.n: Tendencia temporal del fósforo total

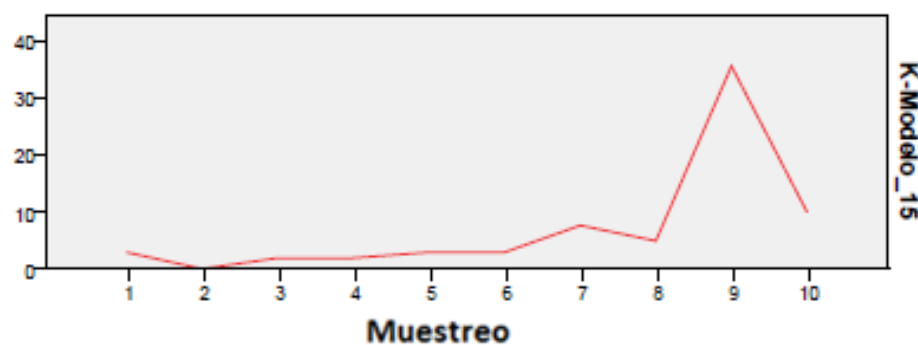


Figura 4.ñ: Tendencia temporal del potasio

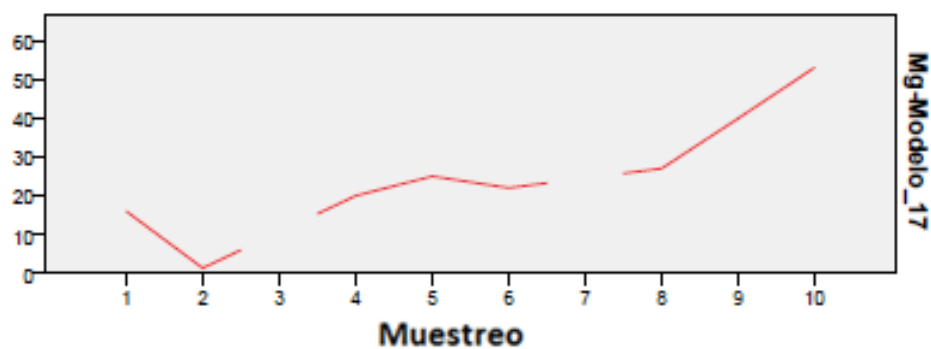


Figura 4.o: Tendencia temporal del magnesio

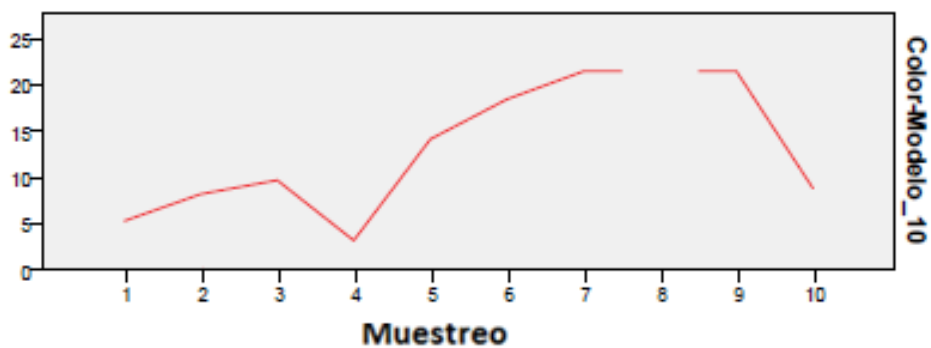


Figura 4.p: Tendencia temporal del color

Sin lugar a dudas, el ion predominante es el SO_4^{2-} , (700-2.102mg/L) salvo los muestreos de julio de 2003 y 2011, (24,24 y 34,06 mg/L respectivamente) (ver anexo II). Le sigue el Ca^{2+} con valores de entre 350-940mg/L, con la misma excepción de muestreos, julio del 2003 y 2011 con 28,10 y 3,35mg/L respectivamente (ver anexo II). El Mg^{2+} parece tener una tendencia creciente, salvo por el muestreo de 2011 (Figura 4.o). El tercer compuesto más presente en la composición química del agua son los carbonatos (80-200mg/L, con las ya presentes excepciones de julio de 2003 y 2011, que presentan valores considerablemente más bajos; 2,13 mg/L y 2,47mg/L),(Ver anexo II).

Por otro lado, de los nutrientes, los más presentes son los compuestos nitrogenados, especialmente los nitratos, seguido del nitrógeno total.

Análisis de Componentes Principales

El PCA para las 17 variables meteorológicas muestra 9 Ejes-value con los (EV) que estaría el 100% de la varianza acumulada explicada. Sin embargo, con los 2 primeros ejes se consigue explicar el 60, 01% de la varianza acumulada.

Tabla 5 Resultado del análisis PCA para los parámetros fisicoquímicos

	EV	%Total Var.	%Cum.Tot.Var.
EV-1	7.1867	42.2746	42.2746
EV-2	3.0164	17.7437	60.0183
EV-3	2.3182	13.6362	73.6545
EV-4	2.0062	11.8010	85.4555
EV-5	1.0643	6.2603	91.7158
EV-6	0.6441	3.7890	95.5048
EV-7	0.5378	3.1635	98.6683
EV-8	0.1641	0.9656	99.6339
EV-9	0.0622	0.3661	100.0000

Este análisis PCA tiene su representación gráfica en un biplot de correlación, en el que los puntos interpretan cada una de los muestreos de agua que se han hecho para obtener la información fisicoquímica, mientras que, los vectores describen los descriptores, que son cada una de los parámetros fisicoquímicos

que se han medido para cada muestreo. La figura 5 es la representación gráfica del PCA (o biplot de correlación) de los parámetros fisicoquímicos una vez extraídos los datos atípicos. Este biplot también tiene dos ejes. El primero representa el primer componente principal o PC-1, con un 42,27% de la varianza explicada y el segundo, o PC-2, con un 17,74%. Sumando un total de un 60,01% de la varianza acumulada explicada. De nuevo El eje y (pc2) explica mucha menos varianza que el pc1, por lo que las principales interpretaciones ecológicas deben basarse en este último.

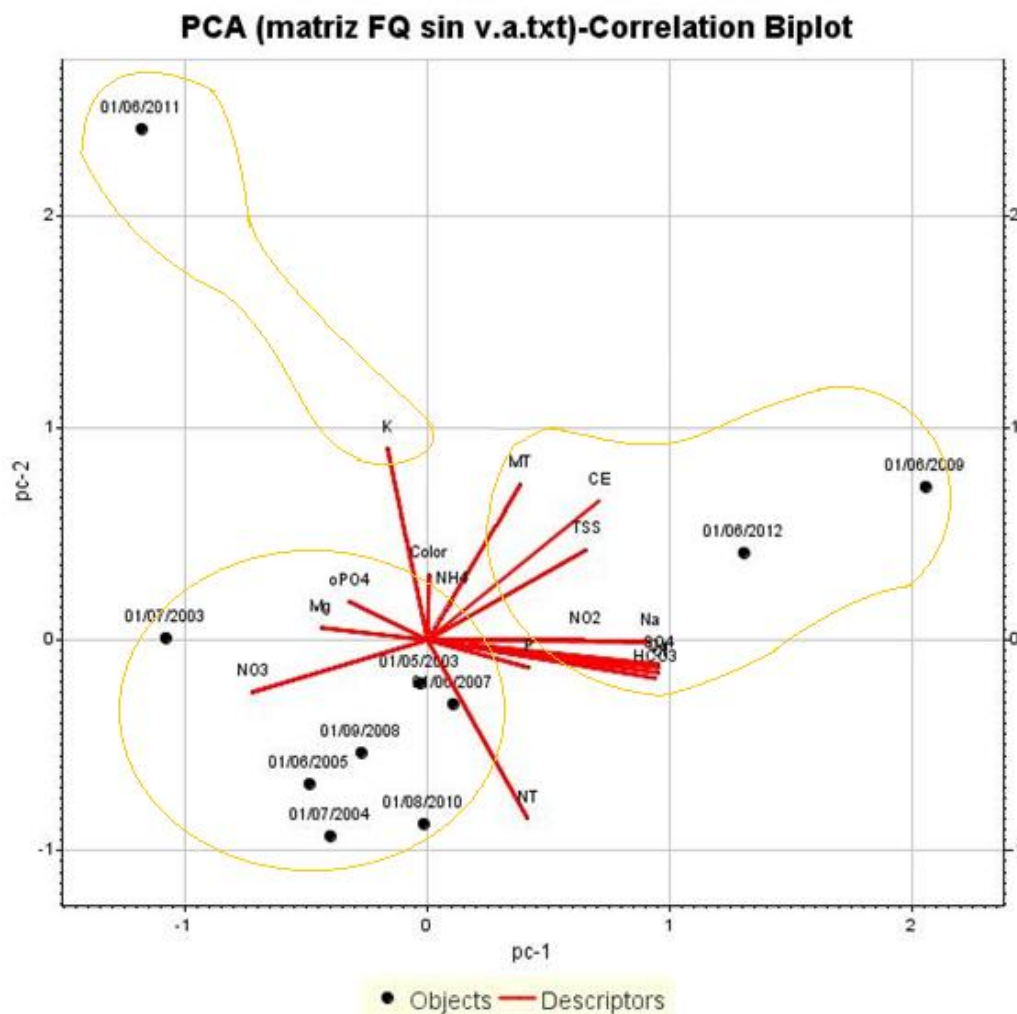


Figura 5: Biplot del PCA para los parámetros fisicoquímicos.

En él se pueden identificar 3 clusters:

- Cluster. 1: Mayo de 2003, Julio de 2003, 2004, 2005, 2007, 2008 y 2010, asociadas a nitratos, nitrógeno total, magnesio, y ortofosfatos,

- Cluster 2: 2009 y 2012. Asociado a los iones, la materia total, la conductividad eléctrica y los sólidos en suspensión, nitritos y fósforo.
- Cluster 3 : 2011 Asociado al K

De nuevo los clusters demuestran la similitud entre las tendencias observadas anteriormente en el análisis de tendencias temporales.

5. DISCUSIÓN:

Distinción de perturbaciones:

La laguna de los Yesares tiene como iones predominantes el sulfato y el calcio (Ver anexo II). Esto es lógico porque está en continuo contacto con materiales yesíferos (Mancebo, 2008). Los sedimentos de yeso, al tener un origen marino, también pueden contener trazas de halita, rocas carbonatadas y algunas sales potásicas y magnésicas (Mancebo, 2008). Estas trazas son las responsables de los aportes de otros iones, como los HCO_3^- , el Cl^- y el Na^+ . Y además siguen la misma tendencia temporal.

Sin embargo, los años 2009, 2012, meteorológicamente distintos (ver figura 2), crean unas perturbaciones climatológicas que afectan a la dinámica hídrica, y en consecuencia, a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de origen geológico. De hecho, estos iones se ven incrementados estos años.

Por otro lado, en algunos casos, como el de 2011, la fuerte demanda hídrica, unido a un nivel de radiación alto y una evapotranspiración elevada, provoca una disminución drástica en las concentraciones de origen químico (ver figura 3). Roquero (2001) atribuye este fenómeno a que en suelos yesíferos, la fuerte evapotranspiración y radiación en superficie provoca un movimiento del agua ascendente por capilaridad, que disuelve las concentraciones.

Además, tanto en 2009, como en 2011 y 2012, la conductividad eléctrica supera los $3000\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos niveles en general son más altos que los que cabría esperar de una laguna de agua dulce, como los del estudio de Millan et al (2011). Esto indica por un lado que en general no es una laguna con

características salinas, pero que durante estos años, toma un carácter ligeramente salino, que puede afectar a diversos factores.

Podemos distinguir por tanto dos tipos de perturbaciones climáticas, una de excesiva demanda hídrica (2011) y otras dos, de grandes aportes pluviométricos y retención de la humedad (2009 y 2012). Que a su vez, tienen repercusiones en los parámetros fisicoquímicos de la Laguna.

En general, las lagunas poco profundas son particularmente vulnerables a la sequía y relaciones desequilibradas entre la evaporación y la precipitación (Jeppesen et al. 2009), debido a su gran superficie: relación de volumen (Coops et al. 2003). Una ligera reducción en la profundidad del lago puede producir cambios significativos en la estructura y función de los lagos poco profundos.

Una excepción al efecto de estas perturbaciones son el K^+ y el Mg^{2+} . Esta diferencia de comportamiento reside en que, según Mancebo (2008) tienen diferentes concentraciones de saturación en el agua y precipitan los últimos, ya que son los más solubles (Mancebo, 2008).

Caracterización de las variables fisicoquímicas relacionadas con los nutrientes:

Principalmente se identifican las cargas externas de P y N como el conductor predominante de la dinámica del sistema (Onandia, G et al. 2015). En algunos estudios como el de Søndergaard, M, et al (2005), se muestra que los índices bióticos están ligados al comportamiento del fósforo y defienden que, debido a su exceso de biodisponibilidad, es responsable de la eutrofización en los cuerpos del agua. (Zamparas et al 2014).

Sin embargo en la laguna de los Yesares, los valores del Fósforo total se encuentran por debajo de los 50 $\mu\text{g/L}$ máximos anuales que presentan otras lagunas como las del estudio de Brierley & Harper, (1999) en las que se aplican métodos de restauración para modificar los niveles de concentración del fósforo. Es más, en la Laguna de los Yesares el fósforo únicamente en dos años supera los límites de buena calidad ecológica según la legislación estatal, y pasa de estado muy bueno a estado bueno o moderado.

El nitrógeno también es ampliamente reconocido como un nutriente clave (Moss et al. 2003). Y hay una gran diferencia entre los lagos influenciados por la actividad humana, donde el nitrógeno está en concentraciones elevadas, y los mejor conservados, donde el nitrógeno disponible es muy escaso. (Moss et al. 2003). En estudios de ecosistemas lacustres superficiales (Moss et al. 2003) o en zonas semiáridas (Ros et al. 2009), los valores del nitrógeno total no superan los 3 mg/L. Sin embargo en la laguna de los Yesares, el NT está por encima de estos 3mg/L en la totalidad de los muestreos. En el estudio de Alvarez-Cobelas (2006) se asemejan un poco más a los valores de la laguna de los Yesares, aunque en este caso la influencia de inputs subterráneos parece ser la clave de este aumento. En este caso, la entrada atmosférica de nitrógeno, por el efecto de las voladuras, es la que más afecta a la Laguna de los Yesares, y es la que podría causar más problemas de eutrofización, ya que sus concentraciones son considerablemente altas. Pero el control de éste es más complicado que el del fósforo porque, entre otras cosas, existe una fuente atmosférica que es bio-disponible, (Smith & Smith, 2007).

El Nitrato en concreto, es el nutriente más presente en niveles de concentración durante toda la secuencia temporal (ver anexo II). Estos valores (comprendidos entre 7,33 y 60,20 mg/L) distan mucho de los de otros estudios como el de Ros et al. 2009, con niveles muy inferiores.

Hay un argumento de que la medición de ambos nutrientes claves es redundante y que la medición única de P total es suficiente. Sin embargo, el nitrógeno puede ser más crucial en la determinación de la diversidad acuática comunidad vegetal que el fósforo total. (Moss et al. 2003). Por ello sería interesante incluir los valores de nitratos en los indicadores de calidad del agua para estudios posteriores, distinguiendo las distintas fuentes.

La concentración elevada de nitratos en el agua supone un problema, ya que está en forma orgánica y es aprovechable por los organismos. Los principales problemas que la hacen incrementar fácilmente son la interrupción de la capacidad de captación de la vegetación y por medio de la contaminación atmosférica. (Moss et al. 2008).

Como evaluar la sucesión ecológica:

El ecosistema tiende a desarrollar transiciones entre un estado, “Menos maduro” y “maduro” y viceversa. Según Margalef (1997), carece de sentido trabajar con el concepto de clímax en ecosistemas acuáticos, porque la dinámica de cambio es mucho más rápida que en ecosistemas terrestres. Por tanto, para evaluar si el ecosistema lacustre está respondiendo bien a la restauración pasiva, habrá que observar dos aspectos.

- 1- El aumento en la complejidad del ecosistema, el cual, ya hemos comentado,
- 2- la capacidad de resiliencia del ecosistema hacia la perturbación.

Estas premisas vienen de la idea de que la sucesión ecológica implica un incremento de la “información” (cantidad de energía, biomasa, o estructura viva e inanimada), desde los estados iniciales a los estados posteriores (Margalef 1997, Walker, 2005). Y además, las fases tardías de la sucesión acumulan mayor cantidad energía, gracias a un menor nivel de perturbación que las iniciales, y, a su vez, estas fases tardías son más resistentes a las perturbaciones gracias al flujo de energía (Margalef 1997, Walker, 2005).

- Indicadores de aumento de la complejidad en el ecosistema:

A pesar de que el nitrato siempre ha tenido una concentración elevada en la laguna, en los primeros años de estudio, otros compuestos nitrogenados no estaban tan presentes en el agua. A partir de 2005 aumentan los valores en de los sólidos en suspensión, el color del agua, los nitritos y el amonio, (Ver figura, 3.i, 3.j, 3.l, y 3.p) Esto indica que a partir de este momento los componentes de origen orgánico son capaces de sufrir una descomposición y dar lugar a nuevas especies químicas.

Por tanto, la laguna no estaba en una situación madura cuando se empezó a estudiar, sino que estos cambios forman parte de la sucesión ecológica. Es decir, el ecosistema está aumentando en complejidad estructural (debido a las nuevas especies químicas) y funcional (activa más nichos ecológicos en la cadena trófica). También nos está indicando un cambio en la entrada de nutrientes a la laguna. Antes principalmente por la deposición atmosférica, y la

materia orgánica, por entradas horizontales, arrastradas por la erosión pluvial hacia la cuenca.

Según Millan et al.(2011) Los ecosistemas de carácter más salino, incapaces de albergar tanta vegetación como los de agua dulce, presentan su materia orgánica en forma bentónica fina y ultrafina mientras que las partículas gruesas son más escasas. (Millan et al. 2011). Si bien es cierto que la laguna de los Yesares no tiene características de un medio acuático salino, su enclave sí, y el tipo de suelo también dificulta el crecimiento de la vegetación (Porta et al. 2008), por lo que es posible que la laguna de los Yesares al principio tuviese una materia orgánica de tipo ultrafina, y en 2005 la materia orgánica, ahora de origen vegetal, permita la incorporación de nuevas especies químicas al agua.

- Indicadores de aumento de la resiliencia en el ecosistema:

El efecto de la resiliencia es más difícil de medir. Las distintas perturbaciones de los años 2009, 2011 y 2012 causan que en la Laguna de los Yesares ni el nitrato, ni la materia total ni los sólidos en suspensión tengan una tendencia creciente como consecuencia de la acumulación a lo largo del tiempo, sino picos de concentraciones muy elevadas o muy bajas en relación a otros años, y los aumentos drásticos pueden ocasionar problemas de eutrofización.

Un ecosistema en buen estado debería poder permitir que las formas nitrogenadas que entran en el ecosistema, sean retenidas por la vegetación de captación y sus compuestos, y desnitrificados en los suelos de captación. (Moss et al. 2003). El problema es que en la Laguna de los yesares el aporte de nutrientes es superior al que el ecosistema puede descomponer. Además, debería ser capaz de adaptarse a las perturbaciones sin modificar completamente sus características, y en este caso, la conductividad eléctrica indica que pasa de un medio no salino a uno salino.

Todo esto puede indicar que no hay un aumento en la resiliencia del ecosistema y por tanto, la restauración pasiva aún no ha terminado.

Pero por otro lado, la alta conductividad eléctrica están asociadas a unos niveles de salinidad elevados, lo que dificulta aún más el desarrollo de los organismos encargados de la descomposición. (Crisman et al. 2005) También

evita el desarrollo del fitoplacton y las cianobacterias, lo que hace sea más difícil que se den las bases de la eutrofización.

De hecho, en la laguna de los yesares en el año 2011, los compuestos como el P, el OPO_4 , el NT, el NO_2 , el NO_3 , el NH_4 , todos ellos de procedencia orgánica, vuelven a sus valores mínimos. Todo induce a pensar que para este muestreo el ecosistema está volviendo a las condiciones iniciales, químicamente hablando. A pesar de esto se queda una gran cantidad de materia en el agua sin descomponer, y que más adelante, si se dan las condiciones adecuadas, puede ocasionar problemas. Sería recomendable continuar el estudio y ver si esto realmente sucede así en los años próximos.

Formas de aumentar la resiliencia en la Laguna de los Yesares:

En varios estudios ha quedado demostrado el importante papel de los macrófitos sumergidos. Estos, actúan como el mayor sumidero de nutrientes, (Carpenter et al. 1999) y refugio para el zooplancton, que a su vez, previene la acumulación de biomasa de algas y transfiere eficientemente los nutrientes a niveles tróficos superiores. (Carpenter et al. 1999). A los macrófitos también se les atribuye la capacidad de producir sustancias alelopáticas contra el fitoplancton (relacionado en numerosos estudios con los problemas de eutrofización) y reduce la acción del viento en la resuspensión de los sedimentos del fondo. (Carpenter et al. 1999) Además, los macrófitos permiten que se dé el clima de luz óptimo para el desarrollo de otros macrófitos (Gulati et al. 2008). En la laguna de los yesares, las características morfométricas de la laguna (Ver tabla 1) son propensas para el desarrollo de macrófitos, como además, se manifiesta en las fotos del anexo II.

Es cierto que en lagunas de carácter estacional, los sedimentos en anoxia y la posterior acumulación de materia orgánica y sulfuros (tóxicos para los macrófitos), son limitados por los periodos secos. Sin embargo, los eventos de inundaciones que son lo suficientemente largos, permiten a los macrófitos completar sus ciclos de vida. (Florin et al. 1999). Por tanto, para favorecer el crecimiento de los macrófitos sumergidos, lo fundamental debe ser mantener la

dinámica hídrica, ya que estos se ven favorecidos con las alternancias entre grandes inundaciones y periodos secos (Florin et al. 1999).

La zona litoral, además de ser sumidero de nutrientes y beneficiar el desarrollo de la comunidad de macrófitos, constituyen zonas de buffer, que retrasan o impiden el transporte de nutrientes provenientes de la erosión producida por la acción del agua y el viento en los suelos (Carpenter et al. 1999), (Goldyn, et al. 2014). Para que la restauración pasiva sea exitosa, se debe tener en cuenta la dinámica hídrica básica del mediterráneo, descartando por tanto, la alteración del nivel del agua para hacer la laguna permanente, o modificar el hidronivel para evitar la saturación de compuestos. En ocasiones, permitir las fluctuaciones del nivel del agua es parte de un plan de restauración, como muestran Gulati et al, en su estudio de 2008

En resumidas cuentas, el desarrollo de macrófitos, las fluctuaciones del nivel hídrico, una zona litoral extensa, y la conductividad eléctrica elevada evitan la degradación por excesiva entrada de nutrientes. Aunque el mejor tratamiento para el problema del exceso de nutrientes es la reducción de la entrada de los mismos. (Florin et al. 1999).

.Una medida pasiva podría ser disminuir las voladuras de la zona, modificar el cambio de pólvora, o producirlas cuando las condiciones del viento sean favorables para que estas no sean arrastradas a la laguna. Por otro lado, en caso de que la dirección del aporte sea siempre el mismo, se puede apostar por colocar una barrera, posiblemente natural, como un “bosque de ribera”, que tendría una doble función, por un lado se evita parte de la entrada aérea de nitrato y por otra, proporciona nichos ecológicos, incrementando la diversidad genética en la zona, y facilitando su relación con el resto de su entorno. Y es que estas nuevas “construcciones” que contienen especies comunes o incluso especies exóticas pueden presentar mayor oportunidad para servicios ecosistémicos que sus homólogos naturales en el paisaje. (McCullough et al. 2011). Ya que la entrada de nutrientes no es el único método de degradación.

“La degradación de los lagos es debida a la entrada de nutrientes, de sustancias tóxicas, la pérdida de hábitats o la presencia de especies

invasoras” Carpenter et al. 1999. Para evitar también pérdida de hábitats y crear nichos ecológicos variados se deben activar distintos servicios ecosistémicos y restaurar las funciones del básicas del ecosistema, regulación, hábitat, producción e información (De Groot et al. 2002) aumentando la riqueza genética, la importancia del humedal, y su capacidad de resiliencia y autosostenibilidad. Y es que la restauración debe visualizar los ecosistemas lacustres como partes integrales de su paisaje, para allanar el camino de su desarrollo natural. (Gulati et al. 2008).

Siguiendo con los principios de la restauración pasiva, en muchos casos, unas pocas medidas de protección son suficientemente efectivas para mejorar el estado de los lagos degradados (Goldyn, et al. 2014), y activando los procesos naturales podemos ser capaces de mejorar la calidad del agua sin una intervención directa sobre el ecosistema.

Merece comentarse, que aunque no sea por acción de una perturbación, si no por la acción de dilución del agua, es posible que la tendencia creciente del Mg, acompañada del catión predominante en la laguna, que es el Calcio, puede llegar a plantear problemas con la dureza del agua en el futuro, pero ambos elementos provienen de la geología del terreno y el efecto de precipitadores a largo plazo no resulta rentable.

Finalmente, una de las tareas pendientes en la laguna de los Yesares es reestructurar el talud que hay en la parte norte, (Ver fotos del anexo I) ya que, además de ser una fuente importante de material geológico por la acción de la erosión, existe el riesgo de colmatación tras una avenida torrencial.

Si bien es cierto que queda un problema por solucionar, y es el aumento de los valores de Conductividad eléctrica. Pero los fuertes picos encontrados en las tendencias temporales nos indican que es un parámetro de respuesta rápida y la remediación química seguramente no sería una solución duradera.

Resumiendo, la laguna de los Yesares, durante estos 10 años de estudio, ha experimentado una sucesión ecológica que ha conseguido aumentar la complejidad del ecosistema, pero también ha sufrido perturbaciones que lo han llevado a un estado menos maduro y lo han degradado, sobre todo durante

los últimos años. Por tanto, deducimos que la sucesión ecológica aún tiene que mejorar la capacidad de resiliencia del ecosistema, y que es necesario aplicar medidas de restauración pasiva para que tenga éxito.

Por otro lado, volviendo a los puntos mediante los cuales la Society for Ecological Restoration International (SER), establece que el ecosistema se ha recuperado (o restaurado), podemos decir que:

- El ecosistema tiene las herramientas para establecer flujos bióticos/abióticos con otros ecosistemas: El extenso litoral, la característica multicapa de la cuenca endorreica, y la reconstrucción de las pendientes circundantes le permitirán hacerlo en un futuro no muy lejano.
- La capacidad de recuperación de la laguna ante situaciones de estrés y alteración ambiental normales, es buena, pero ante las grandes perturbaciones como las definidas en 2009, 2011, y 2012 el ecosistema vuelve a un estado anterior menos maduro.
- El ecosistema se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente, aunque se recomienda tomar las medidas necesarias para evitar la entrada antropogénica de nutrientes por la voladuras.

Para ser un ecosistema novel, la laguna de los yesares tendría que ser un ecosistema diferente a los que han prevalecido históricamente, y en la provincia de Almería quedan pocos ecosistemas lacustres, menos aún temporales, y con características de agua dulce en terreno yesífero. (Delgado et al. 2003), pero sí existen tipos de lagunas endorreicas temporales en zonas yesíferas, por lo que no es un ecosistema novel. También tiene tendencia a autoorganizarse, y ha manifestado cualidades nuevas sin gestión humana intensiva (al someterse a una restauración pasiva). Así que podríamos decir que contiene suficientes recursos para continuar su desarrollo y pero no es un ecosistema resultado de una combinación diferente y nueva de varios de los ecosistemas actualmente existentes.

Por otro lado, las proyecciones de futuro muestran que la zona de clima mediterráneo será notablemente afectada con implicaciones significativas para los niveles de agua de la laguna y la salinidad. (Jeppesen et al. 2015). Por ello

es importante continuar con el estudio del LTER. En este caso, en concreto, sería necesario estudiar las variaciones intra- anuales además de las interanuales, con el fin de conocer como influyen estos aspectos en el ecosistema y conocer mejor el funcionamiento de la dinámica hídrica.

También sería interesante realizar un estudio del desarrollo de la vegetación de la zona, para ver hasta el ecosistema es capaz de ser un hábitat para especies endémicas (recordemos su proximidad al Paraje Natural “Karst en yesos de Sorbas”) y estudiar su capacidad de albergar distintas especies.

6. CONCLUSIONES:

- Restauración pasiva inacabada, pendiente de mejorar su resiliencia.
- No hay problemas con el Fósforo total pero sí con el Nitrógeno total. El cual debería considerarse como indicador de calidad del agua ya que aporta diferente información que el PT.
- El aumento de conductividad eléctrica en los años de perturbaciones aporta condiciones de salinidad y dificulta la degradación de la materia orgánica.
- La aparición de nuevas especies químicas a partir de 2005 indican aumento de complejidad del ecosistema.

7. AGRADECIMIENTOS:

Quiero dar mis agradecimientos a las siguientes personas, ya que sin ellas, este trabajo no hubiera sido posible.

Por un lado, agradecer a mi director José Miguel Castillejo, por todo el tiempo invertido, por su paciencia, sus conocimientos y por el optimismo con el que me ha apoyado a lo largo de todas las fases de este trabajo.

A Rocío Flores y José Manuel Nicolau por arrojar un poco de luz sobre el proyecto inicial, por sus aportaciones y su interés.

A todo el equipo del CSIC por darme la oportunidad de manejar estos datos e interpretarlos. A todos los que trabajaron durante toda esa década tomando muestras y analizándolas en el laboratorio. A los que redactaron la memoria base de la que parte este trabajo, de 2002, "Ecología Acuática de la Laguna de los Yesares (cantera de los Yesares, Iberplaco, S.A., Sorbas, Almería).

Quiero agradecer también a la empresa de Iberplaco por permitir la realización de este proyecto.

Por otro lado, a todas las personas que estudian o trabajan en la EPSH, a todos los profesores que me han aportado un poquito de su conocimiento y han hecho posible que hoy esté aquí, presentando este proyecto. A mis compañeros de clase, con los que he compartido años de vivencias, y en especial, a mi amiga Miriam, compañera de aventuras, de trabajos y de estudio.

Y finalmente, a mi pareja y a mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo.

8. BIBLIOGRAFÍA:

Aguirre-Segura, A., Barranco, P., & Pascual, F. (1995). La colección de ortópteros de la Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC) de Almería.(Insecta, Orthoptera). *Boletín de la asociación española de entomología*, 19(1-2), 133-155

Alcantará A. E.(2009) Vegetación gipsícola mediterránea (GYPSOPHILETALIA)(*).

Alvarez-Cobelas, M., Cirujano, S., Rojo, C., Rodrigo, M. A., Pina, E., Rodríguez-Murillo, J. C., & Montero, E. (2006). Effects of Changing Rainfall on the Limnology of a Mediterranean, Flowthrough-Seepage Chain of Lakes. *International review of hydrobiology*, 91(5), 466-482.

Annadotter, H., Cronberg, G., Aargren, R., Lundstedt, B., Nilsson, P., Ströbeck, S.,(1999) Multiple techniques for lake restoration. *Hydriobiología* 395/396: 77-85.

APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992

Braga, J. C., Martín, J. M., Riding, R., Aguirre, J., Sánchez-Almazo, I. M., & Dinarès-Turell, J. (2006). Testing models for the Messinian salinity crisis: the Messinian record in Almería, SE Spain. *Sedimentary Geology*, 188, 131-154.

Biereley, B., Harper, D. (1999).Ecological principles for management techniques in deeper reservoirs. *Hydrobiologia* 392/396: 335-353, 1999.

Cáceres, R. Á. (1994). *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*. Ediciones Díaz de Santos.

Carpenter, S.R., Lathrop, R.C. (1999).Lake restoration: capabilities and needs. *Hydrobiologia* 395/396, 19-28.

Coops, H., Bekliog̃lu,M., Crisman, T.L., (2003). The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems: workshop conclusions. *Hydrobiologia* 506: 23–27.

Crisman, T. L., Mitraki, C., & Zalidis, G. (2005). Integrating vertical and horizontal approaches for management of shallow lakes and wetlands. *Ecological Engineering*, 24(4), 379-389.

Delgado, S., Calvache, F., López, D., Ortega, M., Vivas, S., del Mar Bayo, M., García-Mayoral, J. (2003). Inventario abierto de los humedales de la región semiárida almeriense: Consideraciones sobre su tipificación. In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 171-186). Instituto de Estudios Almerienses.

Downing, J. A., Y. T. Prairie, J. J. Cole, C. M. Duarte, L. J. Tranvik, R. G. Striegl, W. H. McDowell, P. Kortelainen, N. F. Caraco, J. M. Melack & J. J. Middelburg, (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography* 51: 2388–2397.

Escudero, A., Somolinos, R. C., Olano, J., & Rubio, A. (1999). Factors controlling the establishment of *Helianthemum squamatum*, an endemic gypsophile of semi- arid Spain. *Journal of Ecology*, 87(2), 290-302.

García, J. M. A. (1986). Síntesis geológico-minera de la provincia de Almería. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Ciencias*, (6), 57-59.

Goldyn. R., Podsiadlowski, S., Dondajewska, R., Kozak, A., (2014) The sustainable restoration of lakes –towards the challenges of the Water Framework Directive. *Ecohydrology & Hydrobiology* 14 68-74.

Gulati, R.D., Pires, L.M.D., Van Donk, E., (2008). Lake restoration studies: Failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica* 38, 233-247.

Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., & Zobel, M. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and biogeography*, 15(1), 1-7.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, A. R. Pedersen, K. Ju"rgens, A. Strzelczak, T. L. Lauridsen & L. S. Johansson, (2007). Salinity induced regime shift in shallow brackish lagoons. *Ecosystems* 10: 47–57.

Jeppesen, E. B., Kronvang, M., Meerhoff, M., Søndergaard, K. M., Hansen, H. E., Andersen, T. L., Lauridsen, M., Bekliog˘lu, A. O˘zen & Olesen, J. E. (2009). Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality* 38: 1930–1941.

Jolliffe, I. (2002). *Principal component analysis*. John Wiley & Sons, Ltd.

Knapp, A. K., Smith, M. D., Hobbie, S. E., Collins, S. L., Fahey, T. J., Hansen, G. J. & Webster, J. R. (2012). Past, present, and future roles of long-term experiments in the LTER network. *BioScience*, 62(4), 377-389.

Kratz, T. K., Deegan, L. A., Harmon, M. E., & Lauenroth, W. K. (2003). Ecological variability in space and time: Insights gained from the US LTER program. *BioScience*, 53(1), 57-67.

Keddy P. A., (2010). *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press.

Krijgsman, W., Fortuin, A. R., Hilgen, F. J., & Sierro, F. J. (2001). Astrochronology for the Messinian Sorbas basin (SE Spain) and orbital (precessional) forcing for evaporite cyclicity. *Sedimentary Geology*, 140(1), 43-60.

Mancebo, J.A. (2008). Karstología de yesos. Algunas aplicaciones en ingeniería civil. *Departamento de ingeniería y morfología del terreno. Universidad politécnica de Madrid*.

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Omega.

Margalef, R. (1997). *Our Biosphere*. O. Kinne, editor. Excellence in Ecology Series. Ecology Institute, Oldendorf, Germany.

Matamala, J. J. (2007). Ambientes mediterráneos: aspectos ecológicos de los hábitats de la provincia de almería. En Paracuellos, M. (coord. *De la ed*) *Ambientes mediterráneos*.

McCullough, C. D., & van Etten, E. J. (2011). Ecological restoration of novel lake districts: new approaches for new landscapes. *Mine Water and the Environment*, 30(4), 312-319.

Millán, A. (2004). Macroinvertebrados acuáticos de la rambla de Tabernas: endemismos e indicadores bióticos. Subdesiertos de Almería: *naturaleza de cine*, 273-288.

Millan, A., Velasco, J., Guitiérrez-Cánovas, C., Arribas, P., Picazo, F., Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., (2011). Mediterranean saline streams in southeast Spain: What do we know?. *Journal of Arid Envoronments* 75, 1352-1359

Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comín, F. A., & Yockteng, R. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS-Biology*, 10(1), 45.

Neiff, J. J. (1999). El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*, 229.

Noñges, P., Attayde, J. L., Zohary, T., Coppens, J., Bucak, T., Menezes, R. F., Freitas, F. R. S., Kernan, M., Søndergaard, M., Beklioglu, M. (2015). Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity . *Hydrobiologia* 750:201–227

Ortega, M., Casas, J. J., Aguilera, P. A., & Castro, H. (2000). Regionalisation in inland waters-Hydrochemical characterization of wetlands in a semi-arid region of eastern Andalucía (Almería, Spain): A preliminary study. *Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen*, 27(1), 372-377.

Ortega, M., Carrique, E. L., Casas, J. J., Pineda, F. D., Nogueira, H. C., Rescia, A. J., & Schmitz, M. F. (2001). Humedales almerienses, importancia, problemática y gestión. In *Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas* (pp. 47-61). Instituto de Estudios Almerienses.

Pander, J & Geist, J., (2013) Ecological indicators for stream restoration success. *Ecological Indicators*, 30, 106–118

Peeters, E. T., Franken, R. J., Jeppesen, E., Moss, B., Bécares, E., Hansson, L. A., & Scheffer, M. (2009). Assessing ecological quality of shallow lakes: Does knowledge of transparency suffice?. *Basic and Applied Ecology*, 10(1), 89-96.

Peña, D. (2005) Analisis de series temporales, Alianza Editorial.

Porta J. Lopez-Acevedo M & Roquero C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-prensa.

Poveda, J. F. M. (2009). Aproximación a la checklist de los gipsófitos ibéricos. In *Anales de biología* (No. 31, pp. 71-80).

Redman, C. L., Grove, J. M., & Kuby, L. H. (2004). Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems*, 7(2), 161-171.

Regueiro, M. & Calvo, J.P., (1997) El yeso. Geología y yacimientos en España. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, ISSN0366-3175, Vol. 36, Nº. 6, 1997 , págs. 563-570

Romero, M. C., Cerrillo, M. I. L., Poveda, J. F. M., Sola-Gómez, A. J., Rodríguez-Tamayo, M. L., Pérez-García, F. J., & Sánchez, E. D. D. (2001). Análisis biogeográfico de la provincia de Almería utilizando la endemoflora. In *Valoración y gestión de espacios naturales: libro de actas de las XVII Jornadas de Fitosociología* (pp. 357-366). Servicio de Publicaciones.

Roquero, E., Goy, J. L. G., Cardeña, C. Z., & Artieda, O. (2001). Control geomorfológico de la salinidad en suelos aluviales. Sector central del valle del Tajo. Madrid-Toledo. Cuaternario y geomorfología: *Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*, 15(3), 95-107.

Ros, M.D., Marín-Murcia, J.P., Aboal, M., (2009). Biodiversity of diatom assemblages in a Mediterranean semiarid stream: implications for conservation. *Marine and Freshwater Research*, 60, 14-24.

Smith, R. T. S., & Robert L. Thomas M Smith, R. L. S. (2007). Ecología (No. 577 577 SMI 2007 S6E2).

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: *Society for Ecological Restoration International*.

Søndergaard, M., Jeppesen, E., Peder Jensen, J. & Lildal Amsinck, S. (2005), Water Framework Directive: ecological classification of Danish lakes. *Journal of Applied Ecology*, 42: 616–629.

Solé-Benet, A., Cantón, Y., Lázaro, R., Barrio, G. D., Puigdefábregas, J., & Vidal, S. (2008). Estación Experimental "El Cautivo"(Desierto de Tabernas, Almería).

Vidal-Abarca, M. R., Gómez, R., & Suárez, M. L. (2004). Los ríos de las regiones semiáridas. *Revista Ecosistemas*, 13(1).

Walker, L.R. (2005) Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas* 200514 (1): 66-78.

Williamson, C. E., Morris, D. P., Pace, M. L., & Olson, O. G. (1999). Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography*, 44(3part2), 795-803.

Younger, P.L. & Mayes, W.M., (2014) The Potential Use of Exhausted Open Pit Mine Voids as Sinks for Atmospheric CO₂: Insights from Natural Reedbeds and Mine Water Treatment Wetlands. *Mine Water and the Environment*. 34, (1),112-120

Zamparas, M.,& Zacharias, I., (2014). Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads. *Science of the Total Environment* 496, 551-562

Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas. Disponible en:

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/data/indexcsp.htm#Thumb-A>

<http://www.lternet.edu/>

<http://www.fundacionfire.org/index.php/la-fundacion-fire>)

<http://biodiver.bio.ub.es/ginkgo/>

<http://biodiver.bio.ub.es/veganaweb/main/?section=../bvegana/content.jsp>

<http://biodiver.bio.ub.es/veganaweb/resources/manual-ginkgo/manual.pdf>

<http://www.floraiberica.es/>